

見積りの信頼度を考慮したプロジェクトコスト評価

Project cost evaluation considering the reliability of the estimate

石井信明[†]

Nobuaki Ishii[†]

[†] 神奈川大学 工学部

[†] Faculty of Engineering, Kanagawa University.

要旨

プロジェクトにおいて、計画段階におけるコスト評価はその成否を左右する重要な要素の一つである。コストを正しく見積ることは困難であるため、三点見積りなど、従来からコストの幅と分布を考慮する多点見積り手法が知られている。しかし従来の方法は、見積り値の分布形状を固定することを前提としており、見積りの信頼度を考慮できない。そのため、誤ったコスト評価を行う可能性がある。本報では、見積りの信頼度を考慮したコスト評価を試みる。従来手法との比較により、見積りの信頼度を考慮することの有効性を検討する。

1. はじめに

一般にプロジェクトの成否は、QCD（品質、コスト、納期）目標の達成度によって評価する。したがって、プロジェクトを成功に導くためには、適切な QCD 目標の設定が不可欠である。そこで本報では QCD の中でも特に C（コスト）に焦点を当て、プロジェクトコストを定量的に評価する手法を提案する。

コスト見積り手法には、パラメトリック見積り、類推見積り、ボトムアップ見積りなどがある[1]。各手法は見積りの目的に応じて選定され、手法により、必要なデータやリソース、期待される見積り精度が異なる。いずれの場合も、コストの見積り値は「最可能値」として算出する。一般的に、コスト目標はこの最可能値に基づき、見積りに用いた情報が含むさまざまなリスクを加味して設定する。

しかしコスト目標の設定は経験的で、定量的な根拠に欠けることが多い。たとえば Turner[2]は、実際コストの変動が見積り値の下側よりも上側に振れることが多い点を指摘し、実際コストが見積りで算出した最可能値を上回る確率が 50%以上であると述べている。この見解に基づき、Turner はプロジェクトチームの責任として、コストの期待値をコストベースラインとして設定し、さらに経営として許容できるコスト超過分を加えたプロジェクト予算を策定する必要があると主張している。これを実現するためにはコストの確率分布を仮定する必要があるが、Turner はその具体的な手法については触れていない。

コストの見積り値を点ではなく確率分布として捉える手法として、PERT[3]が採用した三点見積りが挙げられる。この方法は多点見積り法の一つであり、プロジェクトマネジメントの標準テキストになっている PMBOK[1]にも記載されている。しかし、三点見積りには次の課題が存在する。第一に、確率分布の分散の算出が厳密でない点[4]、第二に、楽観値、悲観値、最可能値を決定すると確率分布の形状が一意に決まるため、見積りの確からしさに基づく適切な分布の設定が出来ない点[5]である。

本報では、見積り精度を考慮したコスト評価方法[5]を基に、見積りの信頼度を考慮した見積り値の確率分布を想定し、プロジェクトコストを評価する手法を提案する。具体的には、従来の三点見積りを拡張し、見積りの信頼度に基づいてコストの確率分布（見積りコスト分布）をコスト項目ごとに設定する。その後、設定したコスト項目ごとの見積りコスト分布とコスト項目間の関係を示すコストモデルを用いてモンテカルロ・シミュレーションを行い、コスト項目を合算したプロジェクトコストの平均値、変動幅を算出する。ここで見積りの信頼度とは、楽観値から最可能値までの累積確率、すなわち、プロジェクトの実際コストが、見積り値の最可能値以下となる確率を指す。

2. 関連研究

これまでのところ、コスト見積りの精度を考慮した管理手法として、入札価格の決定問題に関する研究がある。たとえば Ishii et al. [6]は、複数の入札案件について、見積り精度への影響を考慮し、見積り資源の配分を最適化する手法を提案している。

見積り精度の分布について、Bertisen and Davis [7]はプロジェクト実績から、見積りコスト分布が最可能値に対して左右対象ではなく、コスト上昇方向への変動幅が広くなることを示している。また神崎ら[8]は、実績データの分布から、見積りコスト分布は正規分布ではなく、ベータ分布あるいは対数正規分布にあてはまることを報告している。すなわち、見積りコスト分布がベータ分布に従うことを仮定している三点見積りは、見積りコスト分布に基づくコスト目標の設定に活用できると考えられる。

たとえば倉重ら[9]は、三点見積りをプロジェクト予算の設定に利用する手法を提案している。提案では、ベータ分布を仮定して見積りコスト分布を定め、設定コスト以下になる確率と見積り値の関係から適切な予備費を算出する方法を示している。しかし倉重らは、見積り値の期待値を従来の方法と同様に（悲観値+4×最可能値+楽観値）÷6により求めている。すなわち、見積り値の分布となるベータ分布の形状は、三点の値を決めると最可能値の確からしさに関わらず決まることになり、見積りコスト分布を適切に表現出来ないことになる。

最可能値の確からしさからベータ分布を設定する方法として、木暮と秋庭[10]は、推定者が持つ確信の度合いからベータ分布の分散を設定する方法を提案している。しかし、一様分布を4等分したうえで確信の度合いに応じて分散を設定する方法であり、分布の形状は3パターンの中から選ぶことになる。情報技術の進んだ現在、より精度の高い方法が適用出来ると考える。また見積り値の確率分布の形状を考慮した見積り方法として、石井[5]は、コストの見積り精度と、精度を含めた見積りの信頼度から確率分布の形状を定める方法を提案した。さらに、提案した方法を基にしたコンティンジェンシー予備費、およびプロジェクト予算の設定方法を示した。しかし実務において、コストの見積り精度と見積りの信頼度の両方を定めるのは容易ではないため、実際の使用には難があると言える。

3. コスト評価手法

3.1. 手法の概要

提案手法では、コスト項目ごとに、図1に示すコストの楽観値 a 、悲観値 b 、最可能値（見積り値） m 、見積り信頼度 dc の値から、ベータ分布に基づくコスト分布を決定する。最可能値 m は、1点で見積りする場合の見積り値とする。これらの値は、採用する見積り手法、見積りデータ、実績データなどから求まるが、最終的には関係者の経験と協議により決まるものとする。信頼度 dc ($0 < dc < 1$) は、実際コストが m 以下となる確率として設定する。これらの値を基に、見積りの信頼度を満たすベータ分布のパラメータ α 、 β 、および最可能値係数 c を算出し、見積りコスト分布とする。最可能値係数 c は、パラメータ α 、 β を決定する際の係数である。その後、見積り項目ごとに求めた見積りコスト分布とコストモデルによりモンテカルロ・シミュレーションを行い、コスト項目を合算したプロジェクトコストの平均値、変動幅を算出する。モンテカルロ・シミュレーションを用いるのは、ベータ分布関数どうしの合成が出来ないため、見積り項目を合わせたプロジェクトコストを確率密度関数として示せないためである。

3.2. 計算手順

手法の概要に基づくプロジェクトコスト見積りの手順を、以下のステップに示す。

Step 1: 見積りを行うコスト項目ごとに、次の (a), (b) を順次行い、各コスト項目の楽観値 a 、悲観値

b 、最可能値 m 、見積りの信頼度 dc から、見積りコスト分布を求める。

- (a) a, m, b を式 $f(x) = (x-a)/(b-a)$ により正規化し、それぞれ、 $0.0, tm, 1.0$ とする。 ($0.0 < tm < 1.0$)
- (b) (1), (2), (3) 式を満たす正の実数であるベータ分布 $B(\alpha, \beta)$ のパラメータ α, β 、同じく正の実数である最可能値係数 c ($0 < c$) を決定変数として求める。（ただし(2), (3)式については、参考文献[5]を参照。）

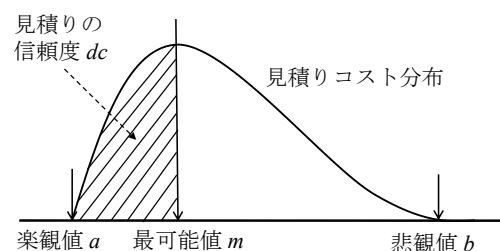


図1 見積りコスト分布と変数の関係
横軸：コスト 縦軸：確率密度

$$\int_0^{tm} \frac{t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)} dt = dc \quad (1) \quad \alpha = c \cdot tm + 1 \quad (2) \quad \beta = c \cdot (1 - tm) + 1 \quad (3)$$

Step2: 各コスト項目の相関関係を反映したコストモデルを作成する。コストの相関とは、たとえば、コスト A の変化とコスト B の変化の関係である。

Step3: Step1 で決定した各コスト項目の見積りコスト分布と Step2 で作成したコストモデルにより、モンテカルロ・シミュレーションを行い、コスト項目を合算したプロジェクトコストの平均値、変動幅を算出する。

4. 数値計算例

ここでは、3 項目からなるプロジェクトコストについて、次のコストモデルに基づいて、提案手法を評価する。なお、各コスト項目における単位数量当たり価格の楽観値、悲観値、最可能値、および Case 2 における見積りの信頼度を表 1 に示す。

＜コストモデル＞

各コスト項目 i ($i=1 \sim n$) の単位数量当たり価格 P_i はベータ分布に従い、必要数量 Q_i は標準数量 SQ とプロジェクトの規模 S により (4) 式により求まる。ただし S の値は、シミュレーションごとに全コスト項目で同じ値とし、0.95 から 1.05 の一様分布とする。さらに、プロジェクトコストは、(5) 式により求まる。

数値計算では、次の 2 つのケースを設定する。また n は、見積もり項目数である。

- ・ Case 1 (従来手法) : 各コスト項目の単位数量当たり価格の分布を、標準の三点見積りにより決定
- ・ Case 2 (提案手法) : 各コスト項目の単位数量当たり価格の分布を、本提案手法の Step 1 により決定

$$Q_i = SQ_i \times S \quad (4) \quad \sum_{i=1}^n P_i \times Q_i \quad (5)$$

価格(P)の確率密度関数のパラメータを、表 2 に示す。ただし Case 1 は、標準の三点見積りを用いているため、 $c=4.0$ 、 $\alpha+\beta=6.0$ に固定としている。これに対し Case 2 では、提案手法により確率分布形状を求めており、見積り信頼度に応じた値となっている。なお Case 1 における見積り信頼度を逆算して求めると、M1, M2, M3 で、それぞれ、33.2, 33.2, 45.2 (%) となっている。

表 1 価格 (P) と標準数量 (Q) の設定 [¥/個] (見積りの信頼度は、Case 2 のみに適用)

コスト項目	楽観値	最可能値	悲観値	見積りの信頼度[%]	標準数量 [個]
M1	100	104	120	40.0	200
M2	50	52	60	40.0	100
M3	100	116	140	48.0	200

表 2 価格 (P) の確率密度関数パラメータ

コスト項目	Case 1 (従来手法)			Case 2 (提案手法)		
	c	α	β	c	α	β
M1	4.0	1.8	4.2	14.4	3.88	12.52
M2	4.0	1.8	4.2	14.4	3.88	12.52
M3	4.0	2.6	3.4	28.0	12.2	17.8

表 3 に、モンテカルロ・シミュレーションにより算出した各ケースのプロジェクトコストの平均値、変動幅を示す。シミュレーションは、各ケース 1000 回行った。

全ての項目を楽観値、あるいは悲観値とした場合の総コストの上下限は、それぞれ 42,750, 60,900 であり、分布の形状を考えると表 3 の最小値、最大値の範囲と符合する。このことから、コストモデルとシミュレーション結果は、妥当であると言える。通常の三点見積りを用いて算出した Case 1 の総コストの推定値は、図 2 のように、見積りの信頼度を用いた Case 2 に比べてばらつきが大きいことがわかる。これは、Case 2 が Case 1 に比べて見積りの信頼度が高く、見積りコスト分布が尖っていることによる。

また、Case 1 と Case 2 それぞれの最大値から最小値を引いた変動幅のケース間の差は、3,567 となる。多くのプロジェクトでは、厳しいコスト管理が求められている。コストの変動をより適切に示すことが出来る本提案手法は、リスクへの対応を含めたプロジェクトコスト目標の設定とコスト管理に有用と考える。

表 3 シミュレーションによる総コストの推定値 [円]

	Case 1	Case 2
平均	50,031	49,421
最小	44,145	45,189
最大	56,228	53,706
標準偏差	2,116	1,630

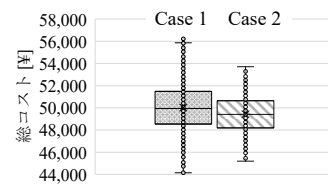


図 2 総コスト推定値のばらつき

5. まとめ

本報では、従来の三点見積りに見積りの信頼度を加えた、プロジェクトコスト評価法を示した。また数値計算例により提案手法の有効性を検討した。本提案で使用しているベータ分布の確率密度、累積確率は、標準的な表計算ソフトの関数になっており、容易に利用できる。すなわち本提案手法は、プロジェクトコストを評価する際に、専門家の判断を支援する一つの方法として利用可能と考える。

本提案手法では、見積りの信頼度から見積りコスト分布を想定している。そのため、情報が少なく不確実性が高いプロジェクトの場合、見積りの信頼度の算定が困難となる。同様に、コストモデルの作成も難しくなる。今後、実務での利用を考え、見積りの信頼度の算定方法、現実的なコストモデルの作成方法を示す必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24K07936 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Project Management Institute, プロジェクトマネジメント知識体系ガイド PMBOK ガイド 第 6 版, Project Management Institute, 2018.
- [2] Tuner, J. R., *The Handbook of Project-Based Management*, 4th Ed., McGraw-Hill, New York, 2014.
- [3] Special Projects Office, Bureau of Naval Weapons, Department of the Navy, Washington D.C., Program Evaluation Research Task (PERT), Summary Report; Phase 1; Appendix B, 1958.
- [4] Golenko-Ginzburg, D., "On the distribution of activity time in PERT," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 39, No. 8, 1988, pp. 767-771.
- [5] 石井信明, 見積り精度の信頼度を考慮したプロジェクトコスト目標の設定手法, 日本設備管理学会誌, Vol.34, No. 2, 2022, pp.42-47.
- [6] Ishii, N., Takano, Y. and Muraki, M., "A revised algorithm for competitive bidding price decision under limited engineering man-hours in EPC projects," *Oukan*, Vol. 10, No.1, 2016, pp. 47-56.
- [7] Bertisen, J. and Davis, G. A., "Bias and error in mine project capital cost estimation," *The Engineering Economist*, Vol. 53, 2008, pp. 118-139.
- [8] 神崎光司, 藤野友也, 平井規郎, 中前雅之, "データ分布を考慮したパフォーマンスベースラインの近似算出の有効性", プロジェクトマネジメント学会 2005 年度春期研究発表大会予稿集, 2005, pp. 193-197.
- [9] 倉重 誠, 蘆村武史, 初田賢司, "IT プロジェクトの初期段階におけるリスクを考慮した予備費見積モデル: 予備費とプロジェクト成功確率の関係性", プロジェクトマネジメント学会誌, Vol. 16, No. 3, 2014, pp. 3-8.
- [10] 木暮正夫, 秋庭雅夫, "システム改善目標の達成確率の分析とそれに基づく改善対策の選択方式に関する研究: 企業における部門目標の設定に関する研究(第 1 報)", 日本経営工学会誌, Vol. 25, No. 3, 1974, pp. 208-214.