

# コスト誘因の評価実績に基づいた COCOMO II ソフトウェア開発工数見積りの補正手法

栗原瑛<sup>†</sup> 東基衛<sup>†</sup> 野中誠<sup>††</sup>

本論文では、COCOMO II モデルによるソフトウェア開発工数見積りにおいて、過去のコスト誘因の評価実績を用いて工数見積りを補正する手法を提案する。提案手法は、各コスト誘因に対する確信度に基づいて工数見積りを補正することによって見積り者の評価誤りリスクを回避する。そして、NASA の開発データを用いて提案手法を実験的に評価した結果を報告する。

## Adjusting Estimated Software Development Effort using Cost Drivers Evaluation Data

EI KURIHARA<sup>†</sup> MOTOEI AZUMA<sup>†</sup>  
MAKOTO NONAKA<sup>††</sup>

In this paper, We propose methods for adjusting Software development effort using Cost drivers evaluation data in COCOMOII based estimation model. Our proposal is to avoid estimator's Evaluation Error Risks using Certainty Factor for each Cost Drivers. This paper also reports the experimental results by using NASA software project dataset.

<sup>†</sup> 早稲田大学大学院創造理工学研究科経営システム工学専攻  
Department of Industrial and Management Systems Engineering,  
Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University

<sup>††</sup> 東洋大学経営学部経営学科  
Department of Business Administration, Faculty of Business Administration, Toyo University

## 1. はじめに

### 1.1 研究背景

ソフトウェア開発工数見積りには様々な手法があるが、それらの中でアルゴリズムモデルを用いた工数見積り手法は、ソフトウェア開発規模の他に、複数のパラメータに対する評価値を与えることで見積りを得る。例えば、COCOMO II (COConstructive COSt MOdel II) モデル[1]では、パラメータに相当するコスト誘因に対して、見積り者が適切だと思われる評価レベルを与えることで、工数見積りを得る。

しかし、工数を見積もる時点では、ある評価レベルに対する確信度は 100%ではない。なぜならば工数見積りはあくまで将来の事象を予測したものであるため、与えた評価に対して見積り者が確信を持てるとは必ずしも言えないからである。COCOMO II モデルでは、コスト誘因の評価誤りリスクが発生することに繋がる確信度を考慮していない。

このような工数見積りにおける不確実性の問題に対して、ファジィ推論を応用し、見積り者の確信度を表したモデルが提案されている[2]。しかし、文献[2]の手法では評価値を三角分布で表したメンバシップ関数を単に適用したに過ぎず、過去プロジェクトの実績を考慮したモデルではない。見積りを行う開発組織によって評価値に対する確信度も変化するため、一意に定められた確信度を用いることは現実的ではない。

以上のことにより、ソフトウェア開発工数見積りにおいて、評価値に対する確信度を利用してコスト誘因の評価誤りリスクを回避し、過去プロジェクトの情報を利用した、より現実的な工数見積りを得られる手法が求められる。

### 1.2 研究目的と研究内容

本稿では、COCOMO II モデルを用いたソフトウェア開発工数見積りにおいて、パラメータに対する見積り者の評価誤りリスクを考慮に入れた工数見積りを補正する手法を提案し、その有効性を評価することを研究目的とする。

COCOMO II におけるコスト誘因の評価誤りリスクを考慮に入れるため、ファジィ推論の概念を用いた見積り者のコスト誘因に対する確信度を利用する。確信度の利用にあたり、過去プロジェクトにおけるコスト誘因の評価実績を用いて確信度を補正する手法を提案する。補正された確信度を用いた工数の見積りの精度を、過去プロジェクトにおける実データを用いて評価し、提案手法の有効性を評価する。

本稿の構成は次の通りである。2 章では背景知識として COCOMO II モデルの説明と用語の説明を行う。3 章では COCOMO II を用いた工数見積りの従来研究について、問題点に対する解決アプローチを述べる。4 章では、提案する工数見積り手法の手順について述べる。5 章では、過去プロジェクトの実データを用いた、提案手法の有効性評価について述べる。6 章では評価結果の考察について議論する。最後に 7 章で本稿のまとめを述べる。

## 2. 背景知識と用語の説明

ここでは、COCOMO II モデルについて説明する。また、本稿で用いる用語の意味について説明する。

### 2.1 COCOMO II モデル

COCOMO II とは、COConstructive COSt MOdel II の略称であり、Boehm らが提唱したソフトウェア開発工数の見積りモデルである[1]。工数は、ソフトウェア開発規模であるコード行数やファンクションポイントに、定められた複数のコスト誘因により調整して求める。各コスト誘因には、多段階の評価レベルがあり、それぞれの評価レベルに対して Boehm らの研究により導出された評価値が与えられている。

COCOMO II モデルの最大の特徴は、ソフトウェア規模にコスト誘因に対する評価値を乗じるという単純なアルゴリズム構造である。このモデルを利用するメリットとして、手間がかからず使いやすく、プロジェクトの早期に適用できる点が挙げられる。一方、デメリットとして、適切に用いられなければモデルが不正確であり、パラメータを楽観的に考え過ぎると見積りが過小となる点が挙げられる。

#### (1) モデル式

COCOMO II におけるポストアーキテクチャモデルのモデル式は(1)式として定義されている。ソフトウェア開発規模 *Size* にコスト誘因を乗じることで見積り *Effort* を得る。ただし、*A, B, α* はベースライン調整係数である。

$$Effort = A \times (Size)^{B+\alpha} \times \sum_{i=1}^5 SF_i \times \prod_{i=6}^{22} EM_i \quad (1)$$

COCOMO II を構成するコスト誘因は 5 種類の SF: Scale Factor と 17 種類の EM: Effort Multipliers の計 22 種類で構成される。各コスト誘因に対して見積り者がまずプロジェクトの仕様から「VL: Very Low, L: Low, N: Nominal, H: High, VH: Very High, XH: Extra High」の最大 6 段階で表された評価レベルを 1 つ選択する。そして各評価レベルに対して COCOMO II が独自に指定された評価値を(1)式に代入することで見積りを得る。

#### (2) COCOMO II モデルの課題

COCOMO II は見積り時における不確実性を考慮していない。見積り者が評価レベルを例えば Nominal を選択した場合を考える。COCOMO II モデルを利用するにあたってのマニュアルである、COCOMO II Model Definition Manual[3]では、Nominal と前後する High 及び Low を含む 3 つの評価レベルのうち、どの評価レベルを選択すればよいのか、見積り者が確信を持っていない場合の対処方法は指定されていない。一方で、Very Low と Low または High と Very High で評価の判断に確信が持てない場合は Nominal に近い評価レベルの Low または High を評価するようマニュアルでは指定している。

### 2.2 用語の説明

本稿で用いる、確信度と評価誤りリスクについて説明する。

#### (1) 確信度

馬野はファジィ推論における確信度について、データ（過去の事実）がどれくらい確かであるかを 0 と 1 の間で数値化した指標と定義しており[4]、本稿ではそれを応用する。本稿において、確信度とは、見積り者が過去にコスト誘因に対して評価した「選択された評価レベルに対する正確性」つまり、評価レベルにどれだけ近いかを表す指標を意味する。

確信度を定量的に表す上で様々な確率分布が用いられているが[5]、本稿では、COCOMO II モデルを用いた工数見積りの計算が容易な三角分布で表された確信度を研究対象として利用する。

#### (2) 評価誤りリスク

工学分野におけるリスクについて、ある事象生起の確からしさと、それによる負の結果の組合せと定義されている[6]。本稿において、評価誤りリスクとは、ある評価レベルに対する確信度と、見積りと実工数との見積り誤差の組合せを意味する。

## 3. 従来研究と解決アプローチ

ここでは、COCOMO II モデルにおける評価誤りリスクを考慮し、確信度を用いた従来研究を紹介する。また、従来研究の問題点を整理し、その解決アプローチについて述べる。

### 3.1 経験則を用いた工数見積り

COCOMO II における各コスト誘因の各評価レベルに対する評価値は、Boehm らの研究により導出された値によって一意に定義されている[1]。

一方で Idri は、確信度に基づいたメンバシップ関数を利用する上で、著者の経験則により補正された、確信度のメンバシップ関数を提案した[7]。補正されたメンバシップ関数は各評価レベルに対する EM 評価値を補正しているが、EM 評価値分布は Idri の経験則で指定されており、モデルが他の開発組織で適応できるという根拠が不十分である。

### 3.2 ファジィ推論を用いた工数見積り

Huang らは従来の COCOMO II モデルが表現できなかった確信度を、ファジィ推論を応用することで見積り者の評価レベルに対する確信度を定量化した[2]。

例えばコスト誘因 RELY について、確信度は図 1 に示す EM 評価値分布で表される。EM 評価値分布は、見積り者が評価した評価レベル（確信度=1）を中心に前後の評価レベル（確信度=0）の 3 点を結んだメンバシップ関数で表される。図 1 では、見積り者が評価レベル Nominal を選択した場合における EM 評価値分布を示す。

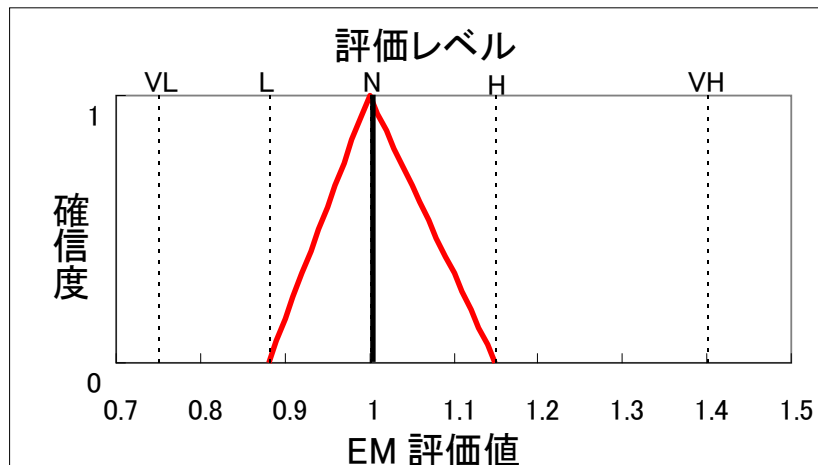


図 1 従来研究における EM 評価値分布<sup>1)</sup>

しかし、Huang らが提案した確信度のモデルはファジィ推論を単に適用したにすぎない。なぜならば Huang らの提案モデルは、ある一つの評価レベルに対する見積り者の確信度を表したモデルであり、評価された「Nominal」に加え、前後の評価レベル「Low」または「High」を評価した際の確信度、つまり見積り者の評価誤りリスクを考慮していない。

### 3.3 問題点の整理と解決アプローチ

確信度に基づいた工数見積りを目的とした、COCOMO II モデル及び工数見積りにおける不確実性を考慮した従来研究における問題点を以下のように整理する。

- 問題点 1: 見積り者の評価レベルに対する評価誤りリスクを考慮していない。
- 問題点 2: 補正された確信度が見積りを行う開発組織に適応したモデルではない。以上に挙げた問題点に対する解決アプローチを以下に示す。

アプローチ 1: 見積り者が与えた評価レベルの確信度に加えて、その前後の評価レベルの確信度も考慮する。

アプローチ 2: 開発組織の過去プロジェクトの情報を用いて、確信度の補正を行う。

この 2つのアプローチを取ることで、コスト誘因の評価実績が蓄積されていくにつれて、開発組織に適応した見積りの補正が行うことができ、正確な見積りを実現することが見込まれる。

\*1 文献[2]のメンバシップ関数を基に著者が作成したものである。

## 4. 工数見積りの補正手法

ここでは、本稿で提案した工数見積りの補正手法について述べる。

### 4.1 補正手法の概要

見積り者が与えた評価レベルの確信度に加えて、その前後の評価レベルの確信度も考慮する解決アプローチに関して、本稿では、見積り者が評価した評価レベルとその前後の評価レベルの計 3つの評価レベルにおけるそれぞれの確信度に限定して定義することで、複雑な確信度のモデルにならずに見積り者の評価誤りリスクを考慮することを実現する。その前提として、実際の評価レベルと見積り時点での指定した評価レベルの差が 2段階以上離れることはないものとする。

また、開発組織の過去プロジェクトの情報を用いて、確信度の補正を行うアプローチに関して、本稿では、COCOMO II モデルをはじめアルゴリズムモデルは開発組織に特有なコスト誘因に対する評価レベルにおける評価を一意に定めているのは現実的な見積りが行えないと考える。ここでは開発組織の過去プロジェクトにおけるコスト誘因の評価実績を用いて評価レベルに対する確信度を補正することで、現実的でより見積り精度が高い見積りが行えることを実現する。

### 4.2 前提条件

提案の前提条件として、開発組織の過去プロジェクトが存在することである。確信度の補正に、過去プロジェクトにおけるコスト誘因の評価実績を利用する。

過去プロジェクトに含まれるデータ構造を表 1 に示す。

表 1 過去プロジェクトにおけるコスト誘因の評価実績

プロジェクト番号	コスト誘因 (EM)					開発規模	実工数
	1	...	$i$	...	22		
1	$K_{1j}$	...	$K_{i,j}$	...	$K_{22,j}$	Size	EffortAct
	$kK_{1j}$	...	$kK_{i,j}$	...	$kK_{22,j}$		
⋮			⋮			⋮	⋮

コスト誘因  $i$  に与えた評価レベルを  $K_{i,j}$  ( $j \in 1, \dots, 6$ ) とする。ただし  $j$  は各評価レベルを示す。 $K_{i,j}$  に対する評価値を  $kK_{i,j}$  とする。また、ソフトウェア開発規模を Size、実工数を EffortAct とする。

これらの情報が含まれたデータセットに基づき、確信度の補正を行う。

### 4.3 補正手法の手順

提案する工数見積りの補正手法の手順を以下に示す。各手順の詳細な説明は次節以降で述べる。

- 手順 1. 見積り者が与えた評価レベルに加えて、その前後の評価レベルも考慮した確信度に基づいた、EM 評価値分布を生成する。
  - 手順 2. 過去プロジェクトに基づいた、実工数と見積り工数との平均見積り誤差を導出する。ここで求めた平均見積り誤差により EM 評価値分布を補正する。
  - 手順 3. 手順 2 で導出した、補正済の EM 評価値分布を用いて工数見積りの累積分布を生成し、工数見積りを補正する。
- 手順 2-3 を繰り返し行うことで、評価値の補正が最適化された工数見積りを得る。

### 4.4 確信度に基づき EM 評価値分布を生成

確信度を表す分布が様々なものがあるが、正規分布やベル型分布など分布の形が複雑であると、COCOMO II モデル式に代入する上で非常に複雑な確信度のモデル集合となる。複雑であると工数見積りを実現するために多量の計算量を要するため、本稿では確信度を表す分布として、三角分布を利用する。

三角分布を利用する上で、本稿では、見積り者が与えた評価レベルの確信度に加えて、その前後の評価レベルの確信度も考慮するために、Huang らが提案した確信度[2]を改良した EM 評価値分布を与える。ここで全てのコスト誘因に対して、Nominal を中心から前後 2 段階の評価レベルを結んだ三角分布で表した EM 評価値分布を導出する。図 2 にコスト誘因 RELY を例に挙げ、Nominal を中心とした場合における EM 評価値分布のメンバシップ関数を示す。

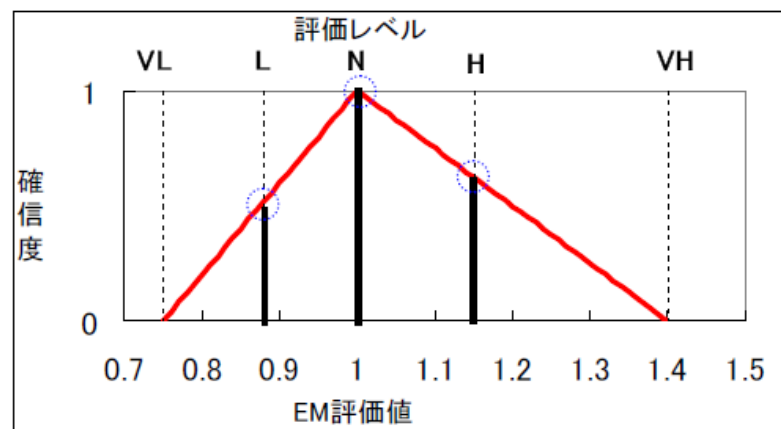


図 2 提案する EM 評価値分布

### 4.5 過去プロジェクトに基づき EM 評価値分布を補正

開発組織に特有な確信度を得るために必要な確信度の補正を行う上で、過去プロジェクトにおけるコスト誘因の評価実績から、実工数と見積り工数との平均見積り誤差を導出する。まず、過去の全プロジェクトに対して、COCOMO II モデルを用いて工数見積りを行う。次に、求めた工数見積りと実工数との見積り誤差  $e$  を求める。最後に全プロジェクトにおける平均見積り誤差  $\bar{e}$  を求める。n 件のプロジェクト数に対してコスト誘因の評価実績から COCOMO II モデルを用いて求められた Effort と実工数 EffortAct を用いて、 $\bar{e}$  は(2)式として定義する。

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{\text{EffortAct} - \text{Effort}}{\text{EffortAct}} \right| \quad (2)$$

得られた平均見積り誤差  $\bar{e}$  に基づき、過去プロジェクトにおける評価誤りリスクを補正するための補正值  $\Delta CD$  を定義する。 $\Delta CD$  は平均見積り誤差を EM の数で除算して求める。ここで COCOMO II モデルの場合 EM の数は 17 である。新たな評価値は補正前の評価値に補正值  $\Delta CD$  を加えた(3)式として定義する。

$$\hat{k}_{Ki-j} = k_{Ki-j} + \Delta CD \quad (3)$$

本稿では各コスト誘因がそれぞれ独立しているものと考え、補正值を均等に振り分けた。しかし、コスト誘因どうしで相関関係があるものが考えられるため、同一の重みを持たせるのは議論の余地がある。そのため、補正值の導出方法を改善することで、個々のコスト誘因の特徴を捉えることができると考えられる。また、本稿では COCOMO II の評価レベルに対する評価値を評価実績から補正しているが、本来ならば評価レベル間の数値も補正対象となるが、評価実験で利用したデータは開発完了後におけるコスト誘因の実工数に対する影響度を測定していないため、本稿の提案対象外とした。

得られた EM 評価値分布は、コスト誘因  $i$  におけるメンバシップ関数  $\mu_i(x)$  として、以下の(4)式で一般化することができる。

$$\mu_i(x) = \begin{cases} \frac{x - \hat{k}_{Ki-j-2}}{\hat{k}_{Ki-j} - \hat{k}_{Ki-j-2}} & \hat{k}_{Ki-j-2} \leq x \leq \hat{k}_{Ki-j} \\ \frac{\hat{k}_{Ki-j+2} - x}{\hat{k}_{Ki-j+2} - \hat{k}_{Ki-j}} & \hat{k}_{Ki-j} \leq x \leq \hat{k}_{Ki-j+2} \end{cases} \quad (4)$$

#### 4.6 工数見積りの累積分布を生成

前節で補正した EM 評価値分布のメンバーシップ関数を COCOMO II モデル式の EM に代入して工数を見積もる。確信度に連続分布を用いているため、工数見積りの最終的なアウトプットは、ある工数に対してその工数を下回る工数見積りが発生する確率の累積分布で表される。具体的には、累積分布の変曲点が EM 評価値分布の中心を示す、見積り者が評価した  $kKi \cdot j$  の値から求めた見積りが、下回る発生確率 50% に相当する。また、 $kKi \cdot j+2$  及び  $kKi \cdot j-2$  の値から求めた見積りがそれぞれ下回る発生確率 100%、0% に相当する。0-100% を 0.5% 刻みでそれぞれの見積りを導出し、累積分布として曲線で表される。

本稿では「良い見積り、有効な見積り」について、プロジェクトの責任者がプロジェクトのターゲットを達成するコントロールを行う上で、適正な意志決定ができる明確な視点を提供する見積りと定義する。つまり、見積りを従来の COCOMO II モデルで求められるシングルポイントで与えるのではなく、見積りに対する確率として示す。そうすることにより、「パーセント確度」とシングルポイントの見積りの値を併用した、たとえば「150 工数で完了する確度は 90%」のように用いたり、あるいは、「最良で 150 工数、最悪で 200 工数」のように見積りの最良と最悪のケースに分けたりすることが可能となる。

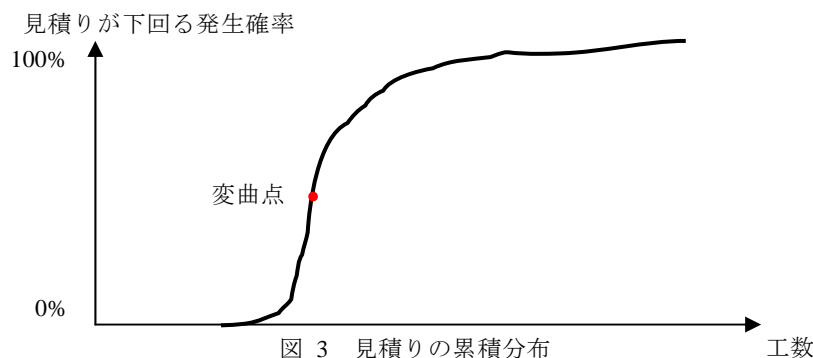


図 3 見積りの累積分布

図 3 に示されるようなパーセント確度を用いた工数見積りは、プロジェクトの責任者が見積りに対する様々なアクションを取り得ることに対しての支援が可能になることが関連研究により示されている[8]。また、見積りの累積分布における変曲点は EM 評価値分布のメンバーシップ関数における変曲点を示す。

## 5. 提案手法の有効性評価

ここでは、評価実験によって得られた結果の妥当性について述べる。

### 5.1 評価実験の概要

提案手法の有効性を評価するために、過去に実際開発されたソフトウェア開発プロジェクトにおけるコスト誘因の評価実績のデータ[9]を用いて検証を行った。

EM 評価値分布に基づいた工数見積りは確率の累積分布で表されるため、従来の COCOMO を用いて導出した点見積りと直接比較はできない。そこで、工数見積りの累積分布における発生確率 75% の値を工数見積りの比較対象とした。これはあらかじめ実験に用いた実データにおいて、COCOMO を用いた見積りは実工数に比べて少ない、つまり過少見積が発生していたプロジェクトが多く占めていた。そこで工数見積りの累積分布において、変曲点よりも右側の値で 50/50 の見積りと厳密な見積りの中間の発生確率における見積りを測定することが妥当と判断した。ここで 50/50 の見積りとは、プロジェクトがうまくいくこともいかぬことも半々である発生確率 50% の見積りである。また厳密な見積りとは、ある値以上の見積りが発生することがない、発生確率 100% の見積りである。

### 5.2 評価対象の過去プロジェクト

評価実験で用いる過去プロジェクトは NASA が 80、90 年代に開発した 60 件の実データを利用した[9]。有効性評価のために収集したコスト誘因の評価実績は COCOMO II モデルではなく、COCOMO81 モデル[10]を利用している。COCOMO II モデルと比べてコスト誘因がいくつか異なるが、本稿で用いる確信度の補正に影響がないため、COCOMO81 モデルに基づいて評価を行った。

### 5.3 評価手順と評価基準

#### (1) 評価手順

評価手順を以下に示す。

- 手順 1. プロジェクト番号 1 から 30 までのコスト誘因の評価実績から平均見積り誤差及び補正値を導出して、補正された EM 評価値分布を得る。
- 手順 2. プロジェクト番号 31 について、①Huang らの EM 評価値分布[2]を用いた見積りを行った場合と、②本稿が提案した補正された EM 評価値分布を用いた見積りを行った場合の 2 手法による見積りを導出する。
- 手順 3. 同様に、プロジェクト番号(m+1)から(m+29)までのコスト誘因の評価実績を基にプロジェクト番号(m+30)について、手順 2 を実施する。
- 手順 4. 手順 2-3 を  $m=1$  から  $m=30$  までについて、手順 2 の 3 手法で工数見積りを導出する。

手順 2 から手順 4 に関して、本提案手法の評価値が見積りを重ねることによって学習することによって評価値が最適化されていくシーンを再現している。

## (2) 評価基準

提案手法を実験的に評価する基準として、実工数と工数見積りとの相対誤差平均 MMRE: Mean Magnitude of Relative Error を用いて評価した。MMRE は工数見積りの信頼率に相当する指標で(5)式として定義される。この値が小さいほど工数見積りの精度が高い。ただし実工数を EffortAct, 工数見積りを Effort である。

$$MMRE = \frac{1}{30} \sum_{m=0}^{m=30} \left| \frac{EffortAct_m - Effort_m}{EffortAct_m} \right| \quad (5)$$

### 5.4 評価結果

過去プロジェクトを用いて見積りを補正しているため、従来の COCOMO81 モデルを用いた見積りの精度と比べて補正された見積りの精度が向上することは自明である。ただ、提案した工数見積りの補正手法が COCOMO81 による見積りに比べて、提案手法における 50/50 の見積りの方が見積りの精度が高いことが確認できた。しかし、過大評価を行ったプロジェクトに関して、過少見積りが多く起きた実績の利用により、逆に見積りの精度が悪化した。

補正された EM 評価値分布を用いて導き出された、工数見積りの累積分布の例を図 4 に示す。図 4 の例では実工数 252 であったプロジェクト#52 の結果である。

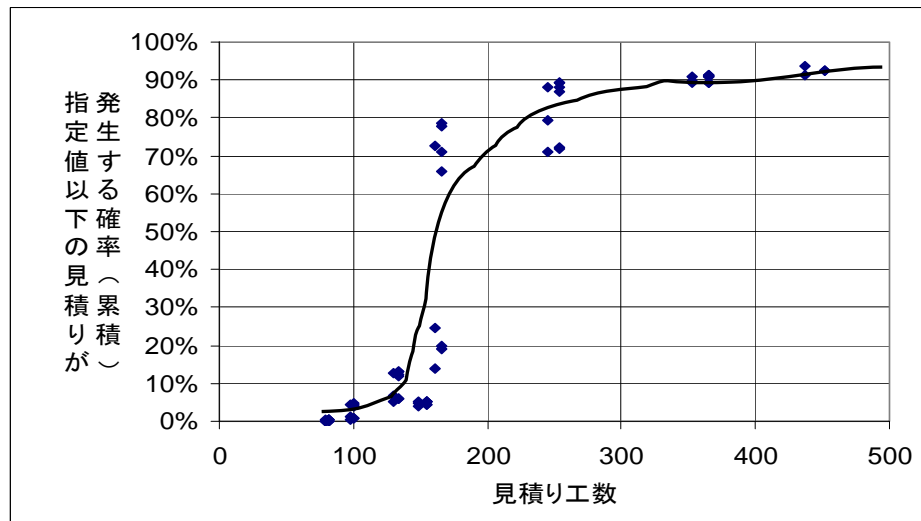


図 4 見積りの累積分布例

プロジェクト#52 では、COCOMO81 による見積りが工数 158.13, Huang らの EM 評価値分布を用いた見積り (発生確率 75%) が工数 198.69, 提案手法を用いた見積り (発生確率 75%) が 214.27 となった。このように、過去の評価実績に照らし合わせた見積りをプロジェクトの責任者は得ることができる。

Huang らの EM 評価値分布[2]を用いた見積りと提案手法を用いて補正した見積りとの比較結果を表 2 に示す。

	Huang らの EM 評価値分布 [2]を用いた見積り	提案手法を用いた見積り
MMRE	0.36	0.32

以上の結果から、工数見積りにおいて、見積り者の評価誤りリスクを考慮に入れることによって、シングルポイントの見積りと比べて多くの有益な見積りに関する情報を得ることが確認できた。また、過去プロジェクトにおけるコスト誘因の評価実績を用いて評価値分布を補正することで、最終的な工数を補正し、より信頼性の高い見積りを得ることができた。

よって、本稿の目的である、COCOMO II モデルを用いたソフトウェア開発工数見積りにおいて、パラメータに対する見積り者の評価誤りリスクを考慮に入れた工数見積りを補正する手法を提案し、その有効性を評価することを達成した。

## 6. 考察

ここでは、本稿で提案した工数見積りの補正手法について、内的妥当性及び外的妥当性に分けて述べる。

### 6.1 内的妥当性

内的妥当性とは、提案手法における因果関係の整合性を表す概念である。

確信度のモデルについて、工数を見積もる時点で特定の評価レベルに対する確信度が必ずしも 100%ではないという仮定の基で工数見積りの補正手法を提案した。実際にプロジェクト早期における多くのプロジェクトにおける見積りでは、コスト誘因に対して過少評価を行った場合が多く、本提案で用いた確信度のモデルは見積り者の評価誤りリスクを低減している点で内的妥当性があると考えられる。しかし、過去プロジェクトのサンプル数が少ない場合、補正後におけるモデルの妥当性は著しく低下する。これはアルゴリズムモデルの問題点でもある。また、見積り者が過大評価を行った場合は考慮していない。

本稿ではアルゴリズムモデルとして COCOMO II モデルを用いているが、そこで提

示されている補正されたコスト誘因の係数の妥当性については議論の余地がある。コスト誘因の各評価レベルに対する評価値は100件に満たないプロジェクトデータに対して多変量解析を行った結果であるため、統計学の観点からはサンプルサイズが不十分である。

また、必要なサンプルサイズは採用する過程で様々なプロジェクトの特性ごとに層別されたデータを用いていない。一方で、確信度を表す評価値分布に関して、本稿では統計的仮説検定を用いた推測統計学に基づいて評価している。しかし、推測統計学に基づく評価の基本的な前提として母集団が正規分布に従うこと、データが母集団から無作為に抽出されていることなどの厳密な仮定に基づいている[11]。このような観点から確信度を用いた工数見積りにおいてCOCOMO IIモデルのコスト誘因を用いる妥当性があるとは必ずしも言えない。

以上より、提案手法の評価方法は内的妥当性に議論の余地があるものの、見積り工数をシングルポイントで求めるのではなく、記述統計を通じて、見積り工数を確率分布で表現することで推測統計の課題を多少は解決している点で一定の内的妥当性があると考えられる。

## 6.2 外的妥当性

外的妥当性とは、評価対象の一般化可能性を表す概念である。

過去プロジェクトの情報をを用いる有用性に関して、様々な工数見積りの支援ツールを調査した結果、過去プロジェクトのデータを用いて評価値を修正する見積りツールはSEER-SEM[12]やCOSYSMO[13]などが挙げられる。提案手法では評価値をCOCOMO IIで定められている評価値のみを補正したが、これらに挙げた見積りツールは見積りにおける詳細で膨大な情報を入力して見積りを得る。提案した補正值は、従来研究や先に挙げた見積りツールと同じく開発組織の過去プロジェクトを利用している。よって、開発組織によらず、現実的な工数見積りを得ることができる点で外的妥当性があると考えられる。しかし、自開発組織で評価用のデータがない場合、本提案手法を適用することができない。

また、本稿が対象とするソフトウェアライフサイクルやソフトウェア開発形態といった開発環境は特に特定していない。開発プロセスに含まれるプロジェクト計画が開発工数に与える影響などがモデルと異なった場合は本稿で提案した工数見積りの補正手法を適用する上で制限が生じる。モデルを適用する際には、そのモデルがライフサイクルプロセスのどこを対象としているのか注意が必要である。規模やアプリケーション領域によって、典型的に含まれるアクティビティは大きく異なるためである[11]。よって、開発組織を細かく開発プロセスをWBSまで落とし込んで見積りを行うことまで考慮していない点で外的妥当性を説明できない。

## 7. おわりに

### 7.1 結論

本稿では、COCOMO IIモデルを用いたソフトウェア開発工数見積りにおいて、パラメータに対する見積り者の評価誤りリスクを考慮に入れた工数見積りを補正する手法を提案し、その有効性を評価することを研究目的とした。

工数を見積もる時点では、ある評価レベルに対する確信度は100%ではないというCOCOMO IIモデルの問題に対して、ファジィ推論を応用し、見積り者の確信度を表したモデルが従来研究で提案されている。しかし評価値に対して三角分布で表されたメンバーシップ関数を単に適用したに過ぎない。また、見積りを行う開発組織によって評価値に対する確信度も変化するため、一意に定められた確信度を用いることは現実的ではない。

そこで、COCOMO IIモデルに基づいたソフトウェア開発工数見積りの補正手法を提案した。具体的にはコスト誘因の評価誤りリスクを考慮に入れるため、ファジィ推論の概念を応用した見積り者のコスト誘因に対する確信度を利用した。確信度の利用にあたって、過去プロジェクトにおけるコスト誘因の評価実績を用いて確信度を補正した。

提案した工数見積りの補正手法の有効性を評価した結果、見積り者の評価誤りリスクに対応した工数見積りを得ることができた。確信度の補正に対して過去プロジェクトを利用することで、開発組織によらない現実的な工数見積りを得ることができた。

以上、見積り者の評価誤りリスクを回避し、現実的な工数見積りを実現することを示すことができた。

### 7.2 今後の課題

今後の課題として、他の開発組織における過去プロジェクトのデータセットを用いた有効性評価が挙げられる。本稿では単一のデータセットの実データを用いて評価している。多くのデータセットによる提案手法の評価を行うことによって、提案の内的妥当性を高めることができる。

また、補正值の導出方法において、個々のコスト誘因の特徴を捉えることで、より精度の高い見積りを得ることができると考えられる。

## 参考文献

- 1) Boehm, B.W. et al.: Software Cost Estimation with COCOMO II, Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, (2000).
- 2) Huang, X., et al.: A Neuro-Fuzzy Model for Software Cost Estimation, Quality Software 03, Proceedings. Third International Conference on, pp.126-133, (2003).

- 3) Center for Software Engineering: COCOMO II Model Definition Manual, Computer Science Department, University of Southern California, <http://sunset.usc.edu/Cocomo.html>
- 4) 馬野元秀: ファジィ・エキスパート・システムの現状と展望, 日本ファジィ学会誌, Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems, Vol.2, No.2, pp.115-124, (1990).
- 5) Galorath, D. D. , and Evans, M. W. : Software Sizing, Estimation, and Risk Management , Auerbach Pub, first edition, (2006).
- 6) (財) 日本規格協会: 2000 「ディペンダビリティ (信頼性) 用語」, JIS Z 8115, (2000).
- 7) Idri, A., Abran, A., and Khoshgoftaar, T.M.: Fuzzy Case-Based Reasoning Models for Software Cost Estimation, STUDIES IN FUZZINESS AND SOFT COMPUTING, VOL 159, pp. 64-96, (2004).
- 8) Jorgensen, M.: Realism in Assessment of Effort Estimation Uncertainly: It Matters How You Ask, IEEE Trans. Softw. Eng., Vol.2004, No.30, pp.209-217, (2004).
- 9) Hihn, J.: PROMISE Software Engineering Repository dataset: NASA COCOMO Estimation data, <http://promise.site.uottawa.ca/SERpository/datasets/cocomonasa.arff>, (2005).
- 10) Boehm, B. : Software engineering economics, Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, (1981).
- 11) 野中誠: ソフトウェア開発コスト予測研究の動向と課題, ソフトウェアエンジニアリング最前線 2008, 近代科学社, pp.33-40, (2008).
- 12) Galorath Inc., Daniel D., and Ferens D. V.: A Software Model Based on Architecture, SCEA Natinal Conference, Scottsdale, (2002).
- 13) Valerdi, R., Boehm, B., and Reifer, D.: COSYSMO: A Constructive Systems Engineering Cost Model Coming Age, 13th INCOSE Symposium, July 2003, Crystal City, VA, (2003).