

発注者の視点に立った ソフトウェア開発費に関する分析

つの だ まとてる
東洋大学 総合情報学部 角田 雅照

奈良先端科学技術大学院大学と当会経済調査研究所の共同研究が、2012年10月に開催された国際会議IWESEP2012において最優秀論文賞を受賞しました。この共同研究の内容を紹介するため、主執筆者の東洋大学 角田雅照助教（前奈良先端科学技術大学院大学所属）にご寄稿いただきました。

1. 研究の背景

ソフトウェアは、組織が活動を行う際に欠くことのできない経営資源の一つである。組織が購入するソフトウェアとして、パッケージソフトウェアとカスタムソフトウェアが存在する。前者はワードプロセッサや表計算ソフトなどの汎用性の高いソフトウェアであり、市場に流通しているソフトウェアを購入して利用する。後者は組織ごとの異なる業務フローに対応した個別性の高いソフトウェアであり、ソフトウェア開発企業にソフトウェアの利用組織（ユーザ）が発注して開発が行われる。

カスタムソフトウェアは高額であるため、その開発費の妥当性を判断することは発注者にとって非常に重要であるが、その判断は容易ではない。パッケージソフトウェアの場合、市場に流通しているため、同等の機能を持つソフトウェア間の価格を比較し、価格の妥当性を判断することができる。これに対し、カスタムソフトウェアの場合、開発企業と発注者が個別に契約して作成されるため、他組織で使われているカスタムソフトウェアの価格や機能を知ることができず、同等の機能を持つものと比較して価格の妥当性を判断することが困難である。複数の開発企業から見積りを得て、見積金額を比較することもできるが、そのためのコストと時間は限られており、最適な（品質とのバランスがよい）開発費にたどりつくことは難しい。

カスタムソフトウェアの開発費の妥当性判断は、経済の側面から見た場合にも重要である。上述のような、発注者（買い手）が開発費（価格）

に関する情報を十分に得られないことを、経済学では情報の不完全性と呼ぶ。情報の不完全性（発注者が最適な価格への到達が難しいこと）により一物一価とならない（価格にばらつきが生じると）、不完全競争と呼ばれる状態となる。不完全競争を完全競争（価格と品質のバランスが良いものが売れる）に近づけ、経済をより効率化するためには、発注者の開発費に関する情報の不完全性を緩和する必要がある。

発注者による開発費の妥当性判断を支援することを目的として、経済調査会と奈良先端科学技術大学院大学（以下奈良先端大と記す。筆者の前所属組織であり、現在非常勤講師を兼務している）で共同研究を実施した。カスタムソフトウェアの開発費の性質は、建設工事の価格の性質と類似している。建設工事もカスタムソフトウェアと同様に個別性が高いため、市場での流通価格に基づいて価格の妥当性を判断することはできない。そのため、公共調達における建設工事の場合、妥当な価格を算出するための積算基準が存在しており、これに基づいて予定価格が決められる。共同研究の目的は、カスタムソフトウェア開発における積算基準のような情報を提供することと言い換えることもできる。

これまで、発注者が開発費の妥当性を判断するための情報は非常に少なかった。その理由の一つは、これまで企業横断的に（多数の企業から）カスタムソフトウェアの開発費データが収集されていなかったためである。企業横断的ソフトウェア開発データで著名なものとして

ISBSG (International Software Benchmarking Standards Group)^{*}という団体が収集しているデータがあるが、これには開発費のデータは含まれていない。共同研究では、経済調査会が収集した、開発費を含んだ企業横断的データを分析対象とした。これにより、開発費に関する分析が可能となった。開発費の妥当性を発注者が判断するための情報が少なかったもう一つの理由として、これまでの研究では「発注者が開発費の妥当性を判断する」ことが考慮されていなかったことが挙げられる。ソフトウェア開発企業に利用されることを前提として、開発費のベースとなる工数を見積もる手法は研究されていたが、開発費そのものについては分析されていなかった。

以降、2章では経済調査会と奈良先端大での共同研究の概要について述べ、3章では共同研究において実施した、発注者の視点に立ったソフトウェア開発費に関する分析を説明する。最後に4章でまとめを述べる。

2. 共同研究の概要

経済調査会と奈良先端大は、これまで様々なテーマで共同研究を行ってきた。経済調査会はソフトウェア開発だけではなく、ソフトウェアの保守や運用に関するデータなども収集している。経済調査会はそれらのデータを集計、分析しているが、より詳細な分析を行うために、奈良先端大との共同研究が実施された。共同研究はおおむね以下の手順で行われた。

1. 両者で議論し、分析の目的、及び分析の大まかな方針が決められる。
2. 経済調査会が収集したデータを、奈良先端大が分析する。
3. 分析結果について両者で議論し、考察を加える。
4. 研究成果を経済調査研究レビューにて発表する。

「経済調査研究レビュー」は経済調査会の発行

する研究誌であり、大学との共同研究の成果などが掲載されている (<http://www.zai-keicho.or.jp/> 「研究成果」にて公開されている)。

発注者の視点に立ったソフトウェア開発費に関する分析についても、上記の手順で行われ、2009年に「経済調査研究レビュー」にて分析結果が掲載された^[1]。その後、2011年に「経済調査研究レビュー」に掲載された原稿を学術寄りの内容に修正し、国内学会（ソフトウェア工学の基礎ワークショップ）にて分析結果の発表を行った^[2]。さらに2012年には、国内学会で発表した原稿を英語に翻訳し、国際学会（International Workshop on Empirical Software Engineering in Practice (IWESEP)）において発表を行った^[3]。

この国際学会 IWESEPにおいて研究内容が高く評価され、最優秀論文賞を受賞した（論文のタイトル：Analysis of Attributes Relating to Custom Software Price）。国際学会 IWESEPは2009年から始まった実証的ソフトウェア工学（データ分析から得られた知見に基づき、ソフトウェアの生産性や品質を高める学問）に関する会議であり、今回で4回目の開催となる。IWESEPの特色として、論文の審査を行う査読委員に海外の若手有力研究者が多数含まれていることが挙げられる。国際学会では、投稿された論文を複数の査読委員で査読（審査）し、その評価点の平均値によって採録、不採録が決定される。最優秀論文賞は、投稿論文の中で評価が最も高いものに対し授与される。

主に以下に述べる二点について高評価を受けた。一つは、「発注者が開発費の妥当性を判断する」ということを目的として、分析を行ったことである。この研究目的は重要な課題であるにも関わらず、従来の研究ではあまり考慮されていなかった。もう一つの評価点は、企業横断的に（多数の企業から）収集されたカスタムソフトウェアの開発費という希少なデータを、統計的に詳細に分析したことである。データには多数の事例が含まれており、それらを詳細に分析していることから結果の信頼性が高いと評価された。経済調査会と奈良先端大の共同研究の枠組みの存在により、高評価を受ける研究成果を出すことができたと考える。

* ISBSG：国境を越えてITの管理の改善を支援するため、ITの過去のデータを収集・分析し、その結果を公表（有料）しているNPO。

3. 開発費に関する分析

分析では、まず、ソフトウェアを割安に発注するため、発注者が配慮すべきことは何かを明らかにした。その後、発注者によるカスタムソフトの開発費の妥当性判断を支援することを目的として、発注者が入手できる情報から、どの程度正確に開発費を推測できるのかを明らかにした。その他に、開発費を推定するためには、どのようなデータ項目が必要となるかについても分析しているが、本稿では省略する。

分析対象のデータは、経済調査会により2007年度に収集された163件のソフトウェア開発のデータであり、従業員が数人の企業から約40,000人までの企業が対象となっている。このうち条件を揃えて抽出した31件のデータを分析対象とした。分析したデータ項目は、工数、規模、価格（開発費）である。工数とはソフトウェアの作成にかかった総作業時間のことである。規模とはソフトウェアの大きさ（機能量）を示し、ファンクションポイント法という方法により計測されている。価格はソフトウェア開発企業が適正と考える価格を指す。実際の価格の場合、発注者とソフトウェア開発企業との関係などに大きく影響されるため、発注者が価格の妥当性を判断するという目的を考慮すると、実際の価格を用いて分析するよりも適切であるといえる。

分析では主に順位相関係数を用いた。順位相関係数（以降、単に相関係数と記す）は外れ値（極端に大きな値や小さな値）に影響を受けないという特長がある。相関係数は-1から1の値を取り、絶対値が大きいほど関連が強いことを表す。相関係数が正の場合、一方が増加すると他方も増えるという関係を示し、相関係数が負の場合、一方が増加すると他方が減るという関係を示す。

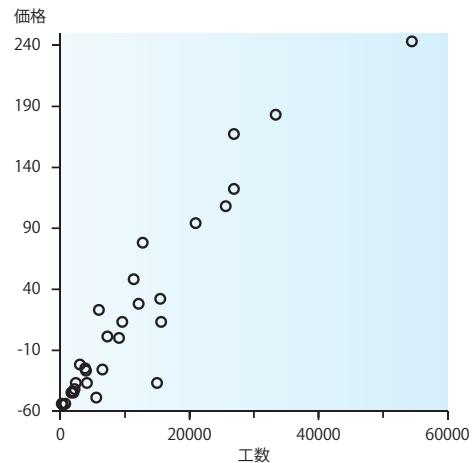
3.1. 工数と価格との関係

最初に、工数と価格との関係を分析した。図-1に価格と工数との関係を示す。図中の価格は、価格から中央値をマイナスしたものであり、実際の価格ではない。価格と工数の相関係数は0.92と

非常に高くなっている、図でもかなりはっきりとした比例関係があった。よって、工数と価格との関連は非常に強いといえるが、この結果は必ずしも自明ではない。工数は大まかには経費を表していると考えられるが、以下の要因が工数と経費（価格）との関係を弱める可能性があった。

- 分析したデータには、大企業から中小企業まで含まれており、給与体系や間接部門の比率も異なると考えられる。
- ソフトウェアによってプロジェクトマネージャーやプログラマーなどの職位別の工数の割合が異なり、職位によって給与（経費）が異なる。
- ソフトウェア開発企業ごとに、利益の上乗せ割合に違いがあると考えられる。

分析結果より、工数が価格の大部分を決定しているといえることから、上記要因は価格の妥当性判断時にあまり考慮しなくてよいと考えられる。



【図-1】価格と工数との関係】

3.2. 工数単価、規模工数、規模単価と、規模と価格との関係

「ソフトウェアを割安に発注するために、発注者が配慮すべきことは何か」を明らかにするために、工数単価（価格 ÷ 工数）、規模工数（工数 ÷ 規模）、規模単価（価格 ÷ 規模）を定義し、これらの関係を分析した。工数単価は技術者の単価、

規模工数は開発効率、規模単価は最終製品の価格を（間接的または直接的に）表している。相互に関連の強い項目（ここでは価格、工数、規模）について、一方の項目で他方の項目を割り、新たに項目を定義することによって、詳細な分析をすることができる。例えば、工数が大きいほど価格は高くなるが、工数単価を定義することにより、「価格が高くなるほど、単価で見ると割安になっているのかどうか」などを分析することができる。それぞれの項目の相関係数を表-1に示す。分析結果からわかる中で、特に重要なものを以下に述べる。

- 規模単価（最終製品の価格）と工数単価（技術者の単価）の関連、規模単価（最終製品の価格）と規模工数（開発効率）の関連を比較すると、後者のほうが大きかった（相関係数0.93）。すなわち、「発注者がソフトウェアを割安に発注するためには、ソフトウェア開発企業における技術者の単価よりも、開発効率を重視すべきである」といえる。なお、規模単価と価格との相関係数が0.55となったのは、規模単価と規模工数の関連の強さが影響していると考えられる。
- 規模に対して、工数単価、規模工数、規模単価はそれぞれ負の相関があったが、相関係数は大きくなく、規模が大きいほど明確に単価が低くなる、または開発効率が高くなるとまでは言えない。従って、少なくとも分析データの最大規模を下回る5,500ファンクションポイント未満の場合では、ソフトウェアの規模はあまり考慮しなくてよいと言える。

【表-1 工数単価、規模工数、規模単価と規模、価格の相関係数】

	価格	規模	工数単価	規模工数
工数単価	0.18	-0.27		0.17
規模工数	0.55	-0.08	0.17	
規模単価	0.55	-0.15	0.49	0.93

3.3. 規模、工数による価格の推測

「発注者が入手できる情報から、どの程度正確に価格を推測できるのか」を明らかにするために、以下の式に基づいて価格を推定し、どの程度の誤差となるかを分析した。

- 工数×工数単価の中央値=価格の推定値
- 規模×規模単価の中央値=価格の推定値

工数単価、規模単価の中央値（数値を小さい順に並べ替えた場合に、半分の位置に現れる数値）は経済調査会が収集したデータから算出した定数である（結果の濫用を避けるために、それぞれの中央値は掲載しない）。工数や規模は価格推定対象のソフトウェアの計測値を代入する。規模はファンクションポイント法により計測される。

規模の計測値についてはソフトウェア開発企業から得られるが、工数の計測値については開発企業が提供したがらないため、発注者が知ることは一般に難しい。分析では、工数の計測値を知ることができた場合、または工数見積り法という方法を用いて推定できた場合を仮定し、その場合にどの程度の誤差で価格を推定できるのかを確かめた。統計的には、それぞれの中央値はリーブランアウト法により求め、誤差(BRE (Balanced Relative Error) の中央値。BREは|推定値-実際の値|÷推定値、または|推定値-実際の値|÷実際の値により計算される) の幅はブートストラップ法により推定した。

その結果、工数を用いた場合、価格の誤差は20.2%（最小で誤差8.4%、最大で誤差34.1%と推定される）、規模を用いた場合、誤差は86.6%（最小で誤差53.1%、最大で誤差249.0%と推定される）となった。規模を用いた場合の誤差は小さくないため、規模による正確な価格の推定は難しいが、極端に安い、または高い価格のソフトウェアについては特定が可能であると考えられる。

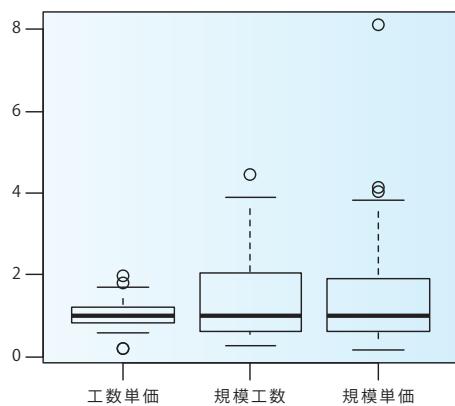
表-2に工数単価、規模工数、規模単価のばらつきを示す。第1四分位数は数値を小さい順に並べ替えた場合に、1/4の位置に現れる数値、第3四分位数は3/4の位置に現れる数値である。また図-2において、箱ひげ図を用いた各項目のば

らつきを示す（各項目の値は中央値で割っている）。箱ひげ図の箱の下部は第1四分位数、上部は第3四分位数を示し、箱の中の太線は中央値を表す。ひげは四分位範囲の1.5倍以内の値で最大と最小のデータを示し、丸印は四分位範囲から1.5倍以上離れたデータを示す。

規模を用いた場合の誤差が大きい理由は、（第3四分位数と第1四分位数との差が3.1倍など）ソフトウェアごとの規模工数（開発効率）の差が大きいためである。工数単価の場合は（第3四分位数と第1四分位数の差が1.4倍など）ソフトウェアごとの差が小さいため、上述の式による推定価格の誤差が小さくなる。詳細については省略するが、規模と工数の計画値と実績値の差が小さく、データには開発に失敗した事例が含まれていなかったと推測されることから、開発効率の違いは、ソフトウェア開発企業の（プロジェクトが順調に進んだ場合の）開発能力の差、または開発したソフトウェアの難易度の差が原因であると考えられる。

【表-2 工数単価、規模工数、規模単価のばらつき】

	第3四分位数 ÷ 第1四分位数	最大値 ÷ 最小値
工数単価	1.4	3.5
規模工数	3.1	17.7
規模単価	3.2	30.8



【図-2 工数単価、規模工数、規模単価の分布】

4. まとめ

本稿では、経済調査会と奈良先端科学技術大学院大学の共同研究として実施した、発注者の視点に立ったソフトウェア開発費に関する分析について解説した。分析では、発注者によるカスタムソフトの開発費の妥当性判断を支援することを目的として、発注者が入手できる情報から、どの程度正確に開発費を推測できるのかを分析した。また、ソフトウェアを割安に発注するために、発注者が配慮すべきことについて分析した。その結果、「工数と工数単価がわかれば、開発費は誤差20.2%（最小で誤差8.4%，最大で誤差34.1%）で推定され、規模と規模単価がわかれば、開発費は誤差86.6%（最小で誤差53.1%，最大で誤差249.0%）で推定される」、「発注者がソフトウェアを割安に発注するためには、ソフトウェア開発企業における技術者の単価よりも、開発効率を重視すべきである」ことが明らかとなった。

謝辞 本研究の共同研究者である経済調査会の押野 智樹様、大岩 佐和子様、奈良先端科学技術大学院大学の松本 健一教授、門田 晓人准教授に感謝いたします。

参考文献

- [1] 角田 雅照、門田 晓人、松本 健一、"ソフトウェア開発費に影響する要因の分析," 経済調査研究レビュー, No.4, pp.80-92, March 2009.
- [2] 角田 雅照、松本 健一、大岩 佐和子、押野 智樹、"カスタムソフトの価格妥当性確認に向けた分析," ソフトウェア工学の基礎 XVIII, 日本ソフトウェア科学会 FOSE2011, pp.249-254, November 2011.
- [3] M. Tsunoda, A. Monden, K. Matsumoto, S. Ohiwa, and T. Oshino, "Analysis of Attributes Relating to Custom Software Price," In Proc. of International Workshop on Empirical Software Engineering in Practice (IWESEP 2012) , pp.16-22, October 2012. (Osaka, Japan)