

自主研究

ソフトウェア開発費に影響する要因の分析

ソフトウェア開発費に影響する要因の分析

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 角田 雅照 門田 暁人 松本 健一

財団法人 経済調査会 調査研究部 第三調査研究室

1. はじめに

現在、ソフトウェアはあらゆる企業で用いられており、企業が活動を行う上で欠くことのできないものとなっている。企業で用いられるソフトには、ワードプロセッサや表計算ソフトなどのパッケージソフトのほかに、各企業の業務に特化したカスタムソフトがある。多くの場合、これらのカスタムソフトは、ソフトウェア開発企業（ベンダー）にユーザが発注して開発が行われる。

ユーザがソフトウェアを発注するにあたり、ベンダーが提示した開発費が適正であるかどうかを判断するためには、費用に関する何らかの資料が必要となる。ただし、これまでソフトウェア開発費が適切であるかを判断するための資料は少なく、ユーザにとってソフトウェア開発費が適切であるかどうかの判断は容易ではなかった。

本稿では、ソフトウェア開発費に影響すると考えられる要因について、以下の分析を行った。

- ソフトウェア開発費見積もりモデルの評価
- プロジェクト初期の実績工数に基づく工数見積もり
- 工程比率の分析
- 契約形態の分析

ソフトウェア開発費見積もりモデルの評価では、数パターンの見積もりモデルを作成し、モデルの精度を比較する。プロジェクト初期の実績工数に基づく工数見積もりでは、プロジェ

クト初期の実績工数を用いることにより、工数見積もりの精度が向上するかどうかを確かめる（一般に、工数と開発費は密接な関係があり、工数見積もりの精度を高めることは開発費見積もりの精度を高めることにつながる）。また、ソフトウェア開発費 = Σ (総工数 × 各工程比率 × 各職種比率 × 各職種料金) と仮定し、この式の一要素である工程比率（設計や製造などの各工程の全工程に占める割合）の分析を行った。さらに、契約形態（請負または委任）と生産性などとの関連を分析した。

以降、2章で分析対象のデータについて述べ、3章でソフトウェア開発費見積もりモデルの評価、4章でプロジェクト初期の実績工数に基づく工数見積もりについて説明する。5章で工程比率の分析、6章で契約形態の分析について述べ、最後に7章でまとめを述べる。

2. 分析データの概要

分析では、財団法人経済調査会により平成19年度に収集されたソフトウェア開発プロジェクトのデータを用いた。近年、International Software Benchmarking Standards Group (ISBSG)^[1]や情報処理推進機構 (IPA) ソフトウェアエンジニアリングセンター (SEC)^[2]により、ソフトウェア開発プロジェクトのデータが収集されている。ただし、ISBSGのデータは海外の企業のプロジェクトが多数を占める。SECのデータは収集対象となった企業数がそ

参考文献

^[1] <http://www.isbsg.org>

^[2] 独立行政法人情報処理推進機構 ソフトウェア・エンジニアリング・センター、ソフトウェア開発データ白書 2008, p.313, 日経 BP 社, 東京, 2008.

れほど多くなく（2007年度に収集されたデータでは20社）、比較的従業員数の多い企業で行われたプロジェクトが中心である。それに対し、財団法人経済調査会のデータは、114社から収集されたものであり、従業員数人の企業から従業員数約40,000人の企業のデータまで含まれており、非常に多様なプロジェクトが含まれるという特徴がある。

データには163件のプロジェクトが含まれているが、一部の値が欠損していた（値が記録されていない）。分析対象のプロジェクトの条件を揃えるため、一定の条件に従ってデータを抽出したが、分析に利用できるデータ件数がそれほど多くなかったため、分析によって抽出条件を多少変更している。データの抽出条件については、各分析の冒頭で述べる。多くのプロジェクトは事務系のソフトウェア開発であり、開発方法論はウォーターフォール（開発を設計、製造、テストの各工程順に進め、後戻りすることを想定しない開発方法であり、広く用いられている）であった。

分析を行ったデータ項目の詳細については、各分析の冒頭で述べる。なお、データ項目に含まれる「FP（ファンクションポイント）」とは、ソフトウェアの規模を表す値であり、FPが大きいほど規模が大きいことを表す。FPは機能数に基づいて計測される（なお、本稿ではFPの実績値を用いて分析を行った）。データ項目に含まれる「工程」について説明する。一般にソフトウェア開発では、設計を行い（設計工程）、設計に従ってプログラム作成し（製造工程）、プログラムの動作をテストする（試験工程）ことが実施される。工程とは、これらのことを指す。各工程の定義については「月刊 積算資料」を参照されたい。さらに、プログラマーなどの「職種」ごとの工数もデータ項目に含まれているが、各職種の定義についても同様に「月刊 積算資料」を参照されたい。

3. ソフトウェア開発費見積もりモデルの評価

3.1 概要

本章における分析の目的は、ソフトウェア開発費見積もりモデルを比較し、ベンダーが価格設定において重視している要因を明らかにすることである。そのためのアプローチとして、適正価格（ベンダーが適正と考える価格）を目的変数、FP（開発規模）、実績工数などを説明変数として数パターンの重回帰モデルを作成し、見積精度を比較する。見積精度とは、（開発費の見積値と実績値の差の大きさを指し、見積精度が高いとは、見積値と実績値の差が小さいことを指す。

目的変数 y に対して k 個の説明変数 x_1, x_2, \dots, x_k が与えられる場合、重回帰分析によって得られる重回帰モデルは以下のように表わされる^[3]。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (1)$$

ここで、 β_0 は回帰定数、 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ は偏回帰係数、 ε は誤差項である。すなわち重回帰分析とは、説明変数（既知の値）に、ある一定の値（偏回帰係数）を掛けたものを足し合わせることで、目的変数（未知の値）を見積もる式（モデル）を得る分析方法である。

構築したモデルの説明変数のパターンは以下のとおりである。

- パターン1. 見積PM工数、見積SE1工数、
見積SE2工数、見積PG工数
- パターン2. 実績PM工数、実績SE1工数、
実績SE2工数、実績PG工数
- パターン3. 見積工数（全職種の合計工数）
- パターン4. 実績工数（全職種の合計工数）
- パターン5. FP
- パターン6. FP、実績工期

PM工数とは、プロジェクトマネージャ（PM）

参考文献

[3] 御園謙吉編，良永康平（編），よくわかる統計学Ⅱ経済統計編，p.228，ミネルヴァ書房，京都，2007。

の総工数、SE1工数とは、主に基本設計などを担当するシステムエンジニア (SE1) の総工数、SE2工数とは、主に詳細設計などを担当するシステムエンジニア (SE2) の総工数、PG工数とは、プログラマー (PG) の総工数を指す。見積工数は、プロジェクト開始時に見積もられた工数、実績工数はプロジェクトにおいて実際に掛かった工数を指す。実績工期は、プロジェクトの期間 (の実績値) を指す。

パターン1で重回帰分析を行うと、得られるモデルは以下のようなになる (パターン2の場合も同様)。

$$\text{適正価格} = \beta_0 + \beta_1 \text{見積PM工数} + \beta_2 \text{見積SE1工数} + \beta_3 \text{見積SE2工数} + \beta_4 \text{見積PG工数} + \varepsilon \quad (2)$$

ここで、重回帰分析により得られる偏回帰係数 β_1 から β_4 を各職種の単価とみなせば、パターン1とパターン2は、以下のように各職種の単価に工数を掛けたものの合計により適正価格を計算するモデル (式) を求めていることになる。

$$\text{適正価格} = \beta_0 + \text{PM単価} \times \text{PM工数} + \text{SE1単価} \times \text{SE1工数} + \text{SE2単価} \times \text{SE2工数} + \text{PG単価} \times \text{PG工数} + \varepsilon$$

3.2 データの抽出条件

分析対象のプロジェクトの条件を揃えるため、下記の条件に従ってデータを抽出した。

- 新規開発プロジェクト
- 分析対象のデータ項目の値が記録されているプロジェクト

るプロジェクト

- 基本設計A、基本設計Bまたは詳細設計、PG設計製造、結合テスト、総合テストが実施されているプロジェクト
- パターン1、パターン2は、各職種別の工数の合計が、総工数の75%から125%までのプロジェクト

なお、CookのDが1を超えたプロジェクト (外れプロジェクト) はなかった。CookのDとは、重回帰分析において極端に値の外れたデータを特定する指標であり、一般に1を超えたデータは極端に値の外れたデータであるとみなされる。

また、数値データは対数変換を行った。対数変換とは、データの各数値の対数をとることであり、その値で重回帰分析を行った。

3.3 モデルの構築方法

モデルの構築は、リーブワンアウト法により行った。リーブワンアウト法は、見積もり対象とする (評価用の) テストデータを1件取り出し、残りのプロジェクトをモデル作成に用いる学習データとすることを、全プロジェクトに対して行う方法である (図1)。学習データにテストデータが含まれていると、モデルの精度が実際よりも高くなってしまう (不適切な分析方法となる) が、リーブワンアウト法により、これを避けることができる。

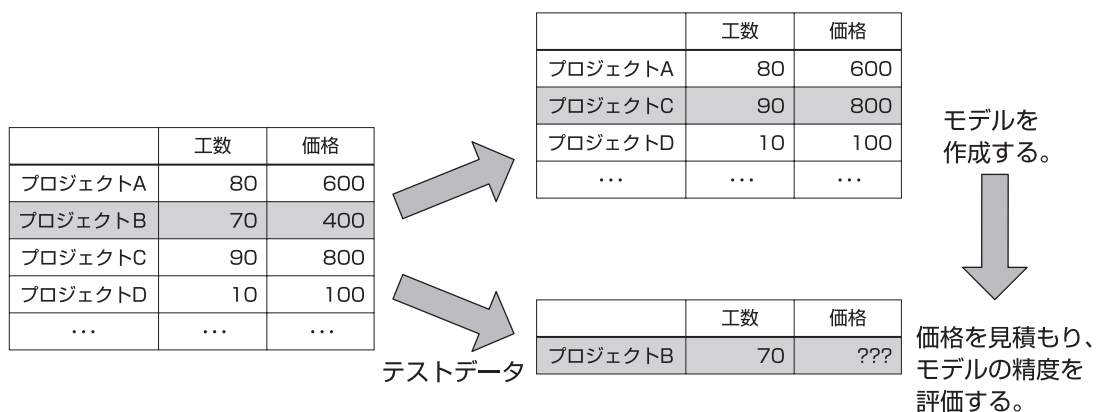


図1 リーブワンアウト法によるモデル構築

3.4 モデルの評価基準

モデルの評価基準として、一般的に用いられる以下の指標を用いた。

- 絶対誤差 = |見積値 - 実績値|
- 相対誤差 = 絶対誤差 ÷ 実測値
- MER = 絶対誤差 ÷ 見積値

ここで相対誤差は、実測値と（絶対）誤差との比により評価する指標である。また、MERは相対誤差の分母を見積値としたものであり、相対誤差が評価しにくい過小見積もりを評価するための指標である。これらの指標の値が小さいほど、モデルの見積精度が高いことを示す。モデルごとに、各評価基準の平均値と中央値を計算した。

3.5 分析結果

各モデルの見積精度を表1に示す（欠損値が含まれていたため、パターンによって学習データの件数は異なる）。総工数を説明変数に用いたモデル（パターン3、パターン4）では、見積精度がかなり高くなっていた。よって、ベンダーは総工数に基づき、開発費を決定していると考えられる。

パターン3は実績工数ではなく、見積工数に基づいて適切な開発費を見積もるモデルであるが、開発費の見積精度は高くなっていた。これは、表2に示すように、人手による工数見積もりの精度が高い（見積工数と実績工数の差が小さい）ためであると考えられる。参考として、図2に人手による工数見積もり方法の内訳を示す。

説明変数に各職種の工数を用いたモデル（パターン1、パターン2）の見積精度はあまり高くなかった。構築されたモデルの条件指標をみると、53.6となっており、多重共線性が発生していた。多重共線性とは、説明変数間の相関が大きい（一方の説明変数の数値が増加すると、他方の説明変数の数値も増加する）ために、相関

の高い説明変数の一方の係数に負の値が現れ、信頼性の低いモデルとなることである。一般に条件指標が30を超えると、多重共線性が発生しているとみなされる。例えば、パターン2で構築されたモデルを確認すると、実績SE1工数の係数が負になっていた。この場合、実績SE1の工数が増えるほど適正価格が小さくなることになり、モデルがうまく構築されていないことを示している。説明変数を減らしたモデルも構築したが、多重共線性は解消されなかった。

表1に示すように、説明変数に各職種の工数を用いたモデル（パターン1、パターン2）の学習データの数が少なくなっている。これは、PM工数、SE1工数、SE2工数、PG工数のうちの一部でも記録されていないプロジェクトは学習データから除外したためである。パターン1、パターン2の見積精度が低いのは学習データが少ないことが影響している可能性がある。そこで、パターン1、パターン2と同じプロジェクトを用いて、総工数を説明変数に用いたモデル（パターン3、パターン4のモデル）を作成した。モデルの見積精度を表3に示す。表に示すように、同じ学習データを用いた場合でも、パターン3、パターン4のほうが見積精度は高かった。よって、学習データ数の違いを考慮しても、パターン3、パターン4のほうが見積精度は高いといえる。

FPを説明変数に用いたモデル（パターン5、パターン6）では、見積精度が低くなっていた。これは、開発費は工数に基づいて決定されるが、表4に示すように、FPによる工数見積もりの精度が高くなかったことが影響していると考えられる。なお、この分析結果は、FPに基づく工数見積もりの精度（および適正価格の見積精度）が一般に低いことを示しているのではないことに注意が必要である。FPは工数を見積もるための説明変数として広く用いられており、適切なモデルを構築することにより、高い精度で工数を見積もることができる。今回の分析では、開発言語やアーキテクチャなどの生産性に

影響する要因を説明変数に含めなかったために見積精度が低くなっていたと考えられ、これらを説明変数に含めることにより、工数見積の精

度や適正価格の見積精度を高めることが期待される。

表1 説明変数のパターン別の見積精度

説明変数	学習データ 件数	絶対誤差 平均	絶対誤差 中央値	相対誤差 平均	相対誤差 中央値	MER 平均	MER 中央値
職種別見積工数 (パターン1)	19	34.8	17.9	50.2%	36.0%	53.3%	40.3%
職種別実績工数 (パターン2)	19	30.6	19.3	52.9%	27.8%	40.5%	29.6%
見積工数 (パターン3)	31	24.0	6.6	33.2%	19.4%	28.7%	17.6%
実績工数 (パターン4)	33	22.8	9.4	45.0%	17.5%	32.0%	21.0%
FP (パターン5)	30	86.3	39.3	107.1%	67.8%	118.2%	71.5%
FP、実績工期 (パターン6)	30	89.6	38.7	117.6%	71.3%	125.3%	74.1%

表2 人手による工数見積もり精度

データ件数	絶対誤差 平均	絶対誤差 中央値	相対誤差 平均	相対誤差 中央値	MER 平均	MER 中央値
32	1570.4	525.5	12.4%	7.9%	16.2%	7.3%

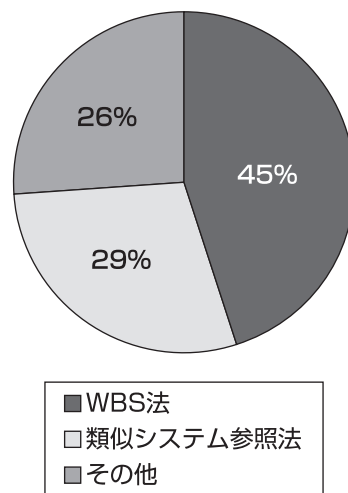


図2 人手による工数見積もり方法の内訳

表3 説明変数のパターン別の見積精度 (同じ学習データを用いた場合)

説明変数	学習データ 件数	絶対誤差 平均	絶対誤差 中央値	相対誤差 平均	相対誤差 中央値	MER 平均	MER 中央値
職種別見積工数 (パターン1)	19	34.8	17.9	50.2%	36.0%	53.3%	40.3%
職種別実績工数 (パターン2)	19	30.6	19.3	52.9%	27.8%	40.5%	29.6%
見積工数 (パターン3)	19	17.6	8.1	35.3%	14.0%	28.4%	13.7%
実績工数 (パターン4)	19	23.7	10.2	44.9%	20.2%	29.7%	16.8%

表4 FPによる工数見積もり精度

学習データ 件数	絶対誤差 平均	絶対誤差 中央値	相対誤差 平均	相対誤差 中央値	MER 平均	MER 中央値
30	12137.6	4465.7	90.5%	60.9%	93.8%	62.0%

3.6 まとめ

本章では、説明変数をさまざまに組み合わせた、ソフトウェア開発費見積もりモデルを評価した。見積工数、実績工数にかかわらず、総工数(プロジェクト全体の工数)を説明変数に用いると、開発費見積もりモデルの精度がかなり高くなった。ベンダーが考える適正価格は工数に基づいており、工数の見積もりが正確であれば、適正価格も高い精度で見積もることができるといえる。

また、プロジェクトマネージャやSEなど、職種別の工数を説明変数に用いた場合、モデルの見積精度は、総工数を説明変数に用いたモデルよりも低くなっていた。少なくとも重回帰分析を用いて開発費見積もりモデルを構築する場合、職種別工数よりも総工数に基づいて見積もるほうがよいといえる。

FPを説明変数に用いたモデルでは、開発費見積もりの精度が低くなっていた。これは、生産性に影響する要因がモデルの説明変数に含まれなかったために工数見積精度が低くなったことが影響していると考えられる。

4. プロジェクト初期の実績工数に基づく工数見積もり

4.1 概要

本章では、プロジェクト初期の実績工数を用いることにより、工数見積もりの精度が向上するかどうかを確かめる。3章での分析結果より、工数見積もりの精度は開発費見積もりの精度と関係していることから、工数見積もり精度を高めることは、開発費見積もりの精度も高めるためにも重要である。

本章では以下の手順で分析を行う。

- 手順1. 基本設計AとBにおける合計(実績)工数を説明変数として、詳細設計から総合テストまでの合計工数を見積もるモデルを構築する。
- 手順2. FPを説明変数として、同様の工数を見積もるモデルと見積精度を比較する。

基本設計AとBにおける合計工数(プロジェクト初期の実績工数)を説明変数としたモデルのほうが、見積精度が高い場合、プロジェクト初期の実績工数を考慮することにより見積精度

を高めることができるといえることになる。

工数見積もりモデルの構築には重回帰分析を用いた。3章と同様にリープワンアウト法によりモデルを構築し、見積精度の評価を行った。モデルの評価基準についても、3章と同様に絶対誤差、相対誤差、MERそれぞれの平均値と中央値を用いた。

分析対象のプロジェクトの条件を揃えるため、下記の条件に従ってデータを抽出した。CookのD (3.2節参照)が1を超えたプロジェクト(外れプロジェクト)はなかった。

- 新規開発プロジェクト
- 分析対象のデータ項目の値が記録されているプロジェクト
- 基本設計A、基本設計Bまたは詳細設計、PG設計製造、結合テスト、総合テストが実施されているプロジェクト
- 各工程の工数の合計が、総工数の75%から125%までのプロジェクト

4.2 分析結果

まず、順位相関係数により、説明変数と目的変数との関連を調べた。順位相関係数は-1から1の値をとり、絶対値が大きいほど関連が強いことを表す。順位相関係数は外れ値に影響を受けないという特長がある。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。一般に、相関係数の絶対値が0.2以下の場合はほとんど相関がない、0.2から0.4の場合はやや相関がある、0.4から0.7の場合はかなり相関がある、0.7以上の場合は強い相関があるといわれている。有意確率は、分析結果(この場合は2つのデータ項目

の関連)が統計的にどの程度信頼できるかを表す数値である。本稿では、有意水準が10%を下回っている場合、統計的に有意である(すなわちデータ項目間の関連が確かである)とした。

FPと、詳細設計から総合テストまでの合計工数(目的変数)との相関係数が0.48(有意確率3%)だったのに対し、基本設計AとBにおける合計工数と、詳細設計から総合テストまでの合計工数との相関係数は0.83(有意確率0%)であった。このことから、基本設計AとBにおける合計工数と、詳細設計から総合テストまでの合計工数の関連がかなり強いことがわかる。

モデルの見積精度を表5に示す。表に示すように、基本設計AとBにおける合計工数を説明変数に用いたモデルのほうが、FPを説明変数に用いたモデルよりも見積精度が相対的に高くなっていた。よって、プロジェクト初期の実績工数を用いることにより、工数見積もりの精度を高めることができると期待される。

なお、本稿はFPに基づく工数見積もりの代わりにプロジェクト初期の実績工数に基づく工数見積もりを用いることを推奨しているのではない。一般に、開発工数はプロジェクト開始時にFPに基づいて見積もられる。プロジェクト初期の実績工数に基づく工数見積もりは、プロジェクトの開始後にしか用いることができないため、FPに基づく工数見積もりの代わりに用いることはできない。この分析結果は、プロジェクト開始後の実績工数に基づいて工数見積もりを行うことにより、予定工数(プロジェクト開始時の見積工数)の超過を早期に把握できる可能性があることを示している。

表5 プロジェクト初期の実績工数に基づく工数見積もりモデルの精度

説明変数	学習データ件数	絶対誤差平均	絶対誤差中央値	相対誤差平均	相対誤差中央値	MER平均	MER中央値
基本設計AとBの合計工数	19	3966.6	1807.0	59.2%	48.6%	58.7%	50.8%
FP	19	5950.8	3500.6	110.1%	65.8%	108.4%	67.2%

5. 工程比率の分析

5.1 概要

本章では、プロセス開始準備、基本設計A、基本設計B、詳細設計、PG設計製造、結合テスト、総合テストの各工程の比率間の関連や、業種などと各工程の比率の関連を明らかにし、工程の配分が適切かどうかを判断する基準とする。分析では、順位相関係数により（数値）変数間の関連の強さを明らかにするとともに、分散分析の寄与率により、業種などのカテゴリ変数と工程比率との関連を明らかにする。また、平行座標プロット（PCP）により、複数の変数間の関連を明らかにする。

分散分析の寄与率は、（業種などの）名義尺度のデータ項目と、（工程比率などの）比例尺度のデータ項目との関連の強さを表す指標である。分散分析の寄与率は0から1の値をとり（0を下回る場合がある）、1に近いほど関連が強いことを表す。順位相関係数、寄与率の有意水準が10%を下回っている場合、データ項目間に関連があるとみなした（統計的に有意であるとした）。

PCP（Parallel Coordinate Plot; 平行座標プロット）は多変数間の関連を発見するために、複数のデータ項目の関係を視覚化したものである。軸の最下部が最小値（欠損値が含まれるデータ項目では、最下部は欠損値を示す）、最上部が最大値を表す。各プロジェクトの値は軸上にプロットされ、線で結ばれる。PCPの作成にはDAVIS^[4]を用いた。

分析対象のプロジェクトの条件を揃えるため、下記の条件に従ってデータを抽出した。

- 新規開発プロジェクト

- 基本設計A、基本設計Bまたは詳細設計、PG設計製造、結合テスト、総合テストが実施されているプロジェクト
- 各工程の工数の合計が、総工数の75%から125%までのプロジェクト

分析対象のデータ項目は、プロセス開始準備、基本設計A、基本設計B、詳細設計、PG設計製造、結合テスト、総合テストの各工程の比率、FP、業種、システム構成、生産性、出荷後バグ密度である。ここで、各工程の比率は、各工程の工数÷総工数により計算する。業種は、金融業、製造業など、ソフトウェアが対象としている業種を表わす。システム構成にはメインフレーム、クライアント/サーバシステム（C/S）、Web系システムなどが含まれる。生産性は実績工数÷FPと定義する。生産性の値が大きいほど効率がよいことを示す。出荷後バグ密度は、出荷後バグ件数÷FPと定義する。出荷後バグ密度の値が小さいほど、ソフトウェアの品質が高いことを示す。

5.2 FPと工程比率との関連

表6にFPと工程比率の相関係数を示す。表に示すように、総合テストのみFPと関連が見られた（有意水準が10%未満であった）。その他の工程比率と規模との関連は弱かった。また図は省略するが、PCPにより分析を行っても、規模（FP）の違いによる工程比率の特徴の違いは見られなかった（例えば、規模が大きいほどPG設計製造工程の比率が高くなる、などといった傾向は見られなかった）。よって、総合テストの工程比率は、規模が大きくなると割合が高くなるといえるが、その他の工程比率は規模による特徴の違いはないといえる。

表6 FPと各工程比率との相関

	プロセス開始準備	基本設計A	基本設計B	詳細設計	PG設計製造	結合テスト	総合テスト
相関係数	-0.09	0.12	0.16	-0.13	-0.01	-0.27	0.46
有意確率	80%	60%	55%	58%	95%	23%	4%
件数	10	20	17	22	22	22	21

参考文献

[4] <http://stat.skku.ac.kr/myhuh/>

5.3 PG 設計製造の工程比率と、他工程の工程比率との関連

PG 設計製造の工程比率と、他工程の工程比率の相関を表7に示す（なお、その他の工程比率の分析も行ったが、特に興味深い分析結果が得られなかったため、分析結果を省略する）。表より、PG 設計製造の工程比率と、プロセス開始準備、基本設計B、総合テストの工程比率と負の相関（PG 設計製造の工程比率が高まる

と、プロセス開始準備、基本設計B、総合テストの工程比率が低くなる）がある（有意水準が10%未満である）ことがわかる。図3にPG 設計製造の工程比率が高いプロジェクトのPCPを示す。図からも、PG 設計製造の工程比率が高いプロジェクトは、上流工程（プロセス開始準備、基本設計B）、総合テスト工程の比率が低い傾向がみられる。また、製造工程の比率は、他の工程比率よりもばらつきも大きかった。

表7 PG 設計製造の工程比率と各工程比率との相関

	FP	プロセス開始準備	基本設計 A	基本設計 B	詳細設計	結合テスト	総合テスト
相関係数	-0.01	-0.45	-0.21	-0.34	-0.17	-0.14	-0.32
有意確率	95%	4%	24%	9%	32%	41%	6%
件数	22	22	33	26	37	37	36

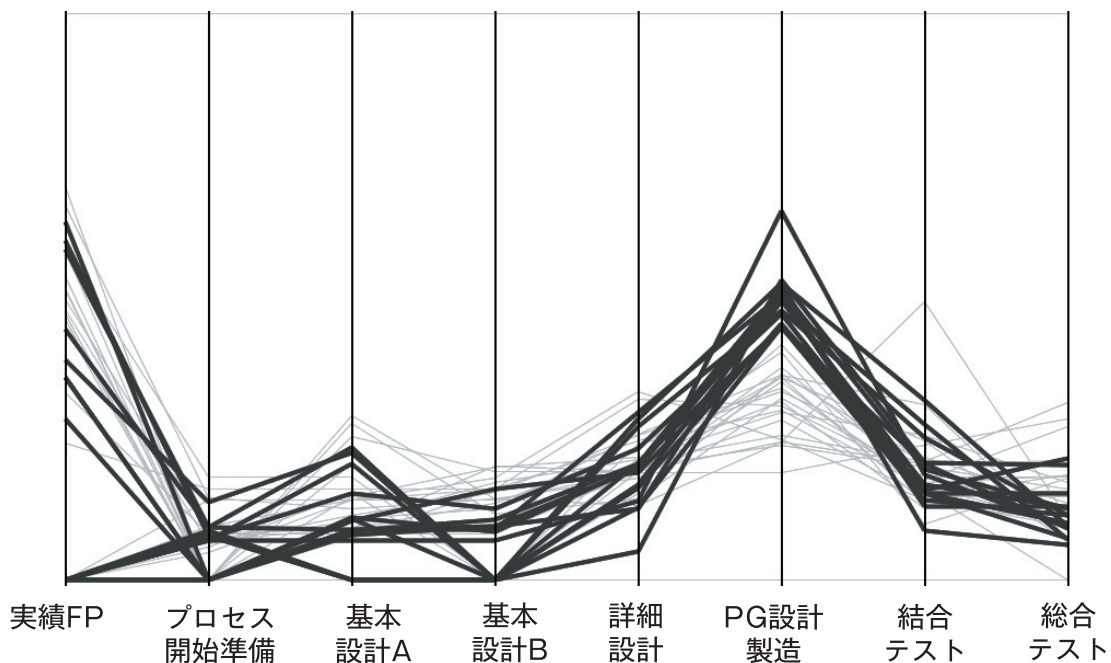


図3 PG設計製造の工程比率が高いプロジェクトのPCP

5.4 業種、システム構成と工程比率との関連

表8に業種の工程比率に対する寄与率を示す。表に示すように、業種と工程比率には特に関連が見られなかった（有意水準が10%以上であった）。表9にシステム構成の工程比率に対する寄与率を示す。表に示すように、システム

構成と結合テストの工程比率とに関連が見られた。詳細に分析を行うと、Web系システムの結合テストの工程比率が、他のシステム構成に比べ低いことがわかった。Web系システムは、他のシステムに比べ、結合テストが短くなりやすい可能性がある。

表8 業種の工程比率に対する寄与率

	プロセス 開始準備	基本設計 A	基本設計 B	詳細設計	PG 設計製造	結合 テスト	総合 テスト
寄与率	-0.17	0.00	0.11	0.11	-0.06	-0.16	-0.06
有意確率	71%	46%	25%	23%	62%	85%	62%
件数	19	30	25	33	33	33	32

表9 システム構成の工程比率に対する寄与率

	プロセス 開始準備	基本設計 A	基本設計 B	詳細設計	PG 設計製造	結合 テスト	総合 テスト
寄与率	-0.09	0.09	0.09	-0.02	-0.01	0.22	-0.03
有意確率	76%	10%	13%	49%	47%	1%	58%
件数	19	30	25	33	33	33	32

5.5 各工程比率と生産性、品質との関連

表10に各工程比率と生産性との相関係数を示す。表に示すように、各工程比率と生産性には特に関連が見られなかった（有意水準が10%以上であった）。ただし、プロセス開始準備比率との相関係数、総合テスト比率との相関係数が比較的大きく（相関係数の絶対値が0.3以上）、これらの工程比率と生産性とは関連がある可能性がある。

表11に各工程比率と出荷後バグ密度（品質）との相関係数を示す。表に示すように、基本設計Bの工程比率と出荷後バグ密度に関連が見られた。相関係数が正の値であることから、基本設計Bの工程比率が高まると、出荷後バグ密

度が高まることを示している。これは、設計に手間をかけると品質が低くなることを表わしており、直感に一致しない。出荷後バグ密度の計算に用いた出荷後バグ数は、プロジェクトによりバグ把握月数（データ収集期間）が異なる。詳細に分析すると、出荷後バグ密度が低いプロジェクト（基本設計Bの工程比率が低いプロジェクト）は、バグ把握月数が欠損していた。基本設計Bの工程比率が低いプロジェクトはバグ把握月数が短いために、出荷後バグ密度（件数）が低くなっていた可能性がある（すなわち、実際には、基本設計Bの工程比率と出荷後バグ密度には関連がない可能性がある）。

表10 各工程比率と生産性との相関

	プロセス 開始準備	基本設計A	基本設計B	詳細設計	PG 設計製造	結合 テスト	総合 テスト
相関係数	-0.37	0.26	0.26	-0.25	-0.21	-0.20	0.32
有意確率	29%	26%	32%	27%	36%	37%	16%
件数	10	20	17	22	22	22	21

表11 各工程比率と出荷後バグ密度との相関

	プロセス 開始準備	基本設計A	基本設計B	詳細設計	PG 設計製造	結合 テスト	総合 テスト
相関係数	0.55	0.10	0.63	-0.12	0.09	-0.13	-0.24
有意確率	13%	69%	2%	62%	71%	57%	32%
件数	9	18	14	20	20	20	19

5.6 まとめ

本章での分析結果を以下にまとめる。

- 総合テスト工程比率と規模 (FP) に正の相関がみられた。その他の工程比率と規模とは関連がみられなかった。
- 製造工程は、プロセスの準備、基本設計B、総合テストの各工程比率と負の相関がみられた。
- システム構成と結合テスト工程比率に関連が見られた。

6. 契約形態の分析

6.1 概要

本章では、契約形態と生産性などとの関連を分析し、契約形態を決定する際の判断の参考となる分析結果を得ることを目的とする。分析では、まず平行座標プロット (PCP) により、契約形態のパターンを明らかにする。次に、分散分析の寄与率やクラメールのVにより、契約形態と生産性、業種などとの関連を明らかにする。クラメールのVは (契約形態などの) 名義尺度の変数間の関連の強さを表す指標であり、0から1の値をとり、1に近いほど関連が強いことを表す (PCP、分散分析の寄与率については5.1節を参照)。

分析対象のプロジェクトの条件を揃えるため、5章と同一の条件によりデータを抽出した。分析対象のデータ項目は、各工程の契約形態、各工程の比率、FP、業種、システム構成、生産性、出荷後バグ密度である (業種、システム構成、生産性、出荷後バグ密度の説明については5.1節を参照)。

6.2 契約形態のパターン

契約形態のパターンを平行座標プロット (PCP) により分析した。最初の工程であるプロセスの準備については、契約形態が記録されていないプロジェクトが多かったため、その次の工程である基本設計Aによりプロジェクトを分類した。基本設計Aの工程が請負契約のプロジェクトのPCPを図4に、基本設計Aの工程が委任契約のプロジェクトのPCPを図5に示す。図に示すように、基本設計Aの工程が請負のプロジェクトは、その他の工程も請負である。また、基本設計Aが委任のプロジェクトは、詳細設計、PG設計製造、結合テストが請負で、その他の工程は委任の場合が多い。そこで、基本設計Aの契約形態によってプロジェクトを分類し、契約形態とその他のデータ項目との関連を分析した。

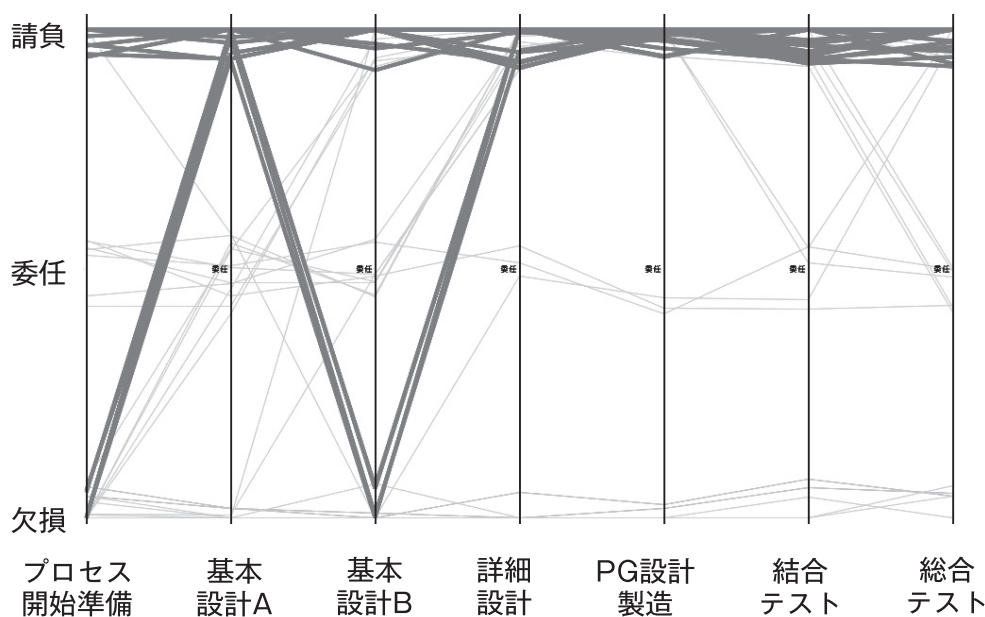


図4 基本設計Aが請負契約のプロジェクトのPCP

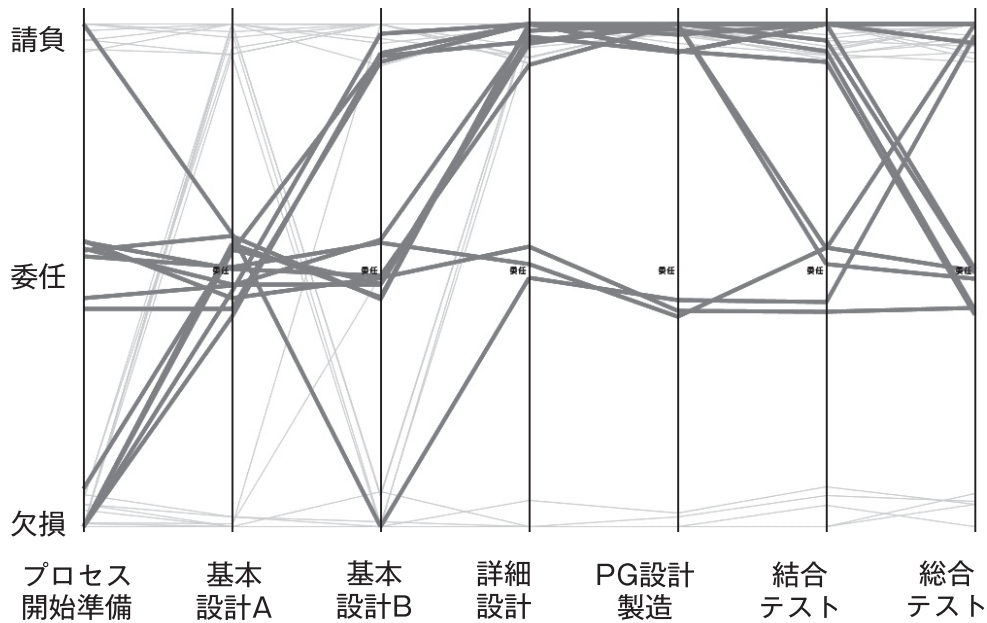


図 5 基本設計Aが委任契約のプロジェクトのPCP

6.3 分析結果

契約形態（請負または委任）と規模、生産性、出荷後バグ密度との関連について述べる。表 12 に基本設計 A の契約形態の、FP、生産性、出荷後バグ密度に対する寄与率（契約形態とそれぞれのデータ項目との関連の強さ）を示す。FP（規模）は契約形態と関連が見られなかった（有意水準が10%以上であった）。

表 12 に示すように、生産性と契約形態に関連が見られた（有意水準が10%未満であった）。図 6 に契約形態別の生産性を示す。図は箱ひげ図と呼ばれるものであり、箱の中の太線は生産性の中央値を表わし、箱の下部は生産性の下位25%、上部は生産性の上位25%を示す（箱の範囲に全プロジェクトの50%が含まれる）。ひげは生産性が大きく異なるプロジェクトを示す。箱ひげ図からも、契約形態により生産性に明確に差があることがわかる。契約形態による生産性の違いの原因が不明確であるが、一つの解釈として、請負契約の場合、要求分析や設計の工数を抑えがちになるために、後工程で手戻りが発生し、生産性が低くなっている可能性がある。今後さらにデータを収集し、生産性と契約形態との関連について分析を行う必要がある。

表 12 に示すように、（基本設計 A の）契約形態と出荷後バグ密度との関連は見られなかった（有意水準が10%以上であった）。ソフトウェアの品質（出荷後バグ密度）は、総合テストと関連が深いと考えられるため、総合テストの契約形態の出荷後バグ密度に対する寄与率も調べたが、寄与率は-0.02（有意確率42%）であり、総合テストの契約形態も出荷後バグ密度と関連があるとはいえなかった。

また、契約形態と業種、システム構成、各工程比率との関連を分析したが、関連は見られなかった。表 13 に契約形態と業種、システム構成とのクラメールのV、表 14 に契約形態の各工程比率に対する寄与率を示す。

表 12 基本設計 A の契約形態の FP、生産性、出荷後バグ密度に対する寄与率

	FP	生産性	出荷後バグ密度
寄与率	-0.05	0.24	-0.06
有意確率	71%	2%	81%
件数	20	20	18

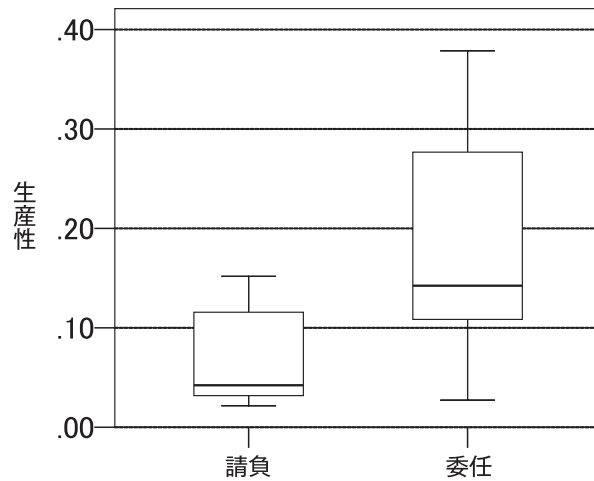


図6 契約形態別の生産性

表13 基本設計Aの契約形態とのクラメールのV

	業種	システム構成
クラメールのV	0.44	0.40
有意確率	73%	11%
件数	28	28

表14 基本設計Aの契約形態の各工程比率に対する寄与率

	プロセス 開始準備	基本設計 A	基本設計 B	詳細設計	PG 設計製造	結合 テスト	総合 テスト
寄与率	-0.07	-0.01	-0.03	-0.03	-0.01	0.03	-0.01
有意確率	87%	38%	60%	82%	45%	17%	41%
件数	16	28	24	33	33	33	32

7. おわりに

本稿では、ソフトウェア開発費に影響すると考えられる要因について、分析を行った。分析結果を以下にまとめる。

- ソフトウェア開発費は、総工数（プロジェクト全体の工数）を説明変数に用いたモデルにより、高い精度で見積もることができる。すなわち、ベンダーは総工数に基づき開発費を決定していると考えられる。
- プロジェクト初期の実績工数を用いることにより、工数見積りの精度を高めることができる。プロジェクト初期の実績工数を用いて工数見積りを行うことにより、予

定工数（プロジェクト開始時の見積工数）の超過を早期に把握できる可能性がある。

- 総合テスト工程比率と規模とに正の相関がみられた。その他の工程比率と規模とは関連がみられなかった。開発するソフトウェアの規模が大きくなると、総合テストの工程比率が高くなることには特に問題がない。
- 生産性と契約形態に関連が見られた。ただし、契約形態による生産性の違いの原因が不明確であり、今後さらにデータを収集し、生産性と契約形態との関連について分析を行う必要がある。