

工数に影響を与える質的変数とその影響度

東海大学 理学部 客員教授

古山 恒夫



エンタープライズ系ソフトウェアプロジェクトの開発工数に影響を与える質的変数を、新規開発及び改修・保守それぞれについて明らかにした。また業種別の分析を行い、製造業の新規開発プロジェクトの影響要因も明らかにした。質的変数の選択にあたっては2群の平均値の差とそのP値だけでなく効果量も考慮に入れた。

1 はじめに

プロジェクト計画時の見積もりや組織レベルのプロセス改善には、考えられる様々な要因の影響を考慮する必要がある。どのような要因がどの程度影響を与えているかを定量的に把握する方法として、専門家の知見を用いた方法や蓄積データの分析による方法がある。

蓄積データから工数に与える影響要因とその程度を調べる方法にも様々な方法があるが、古くから研究され、現在でも多くの研究発表がなされているのが、回帰分析によるものである [Jørgensen 2007]。

実際には、上記の方法を単独で用いることは少なく、幾つかの方法を組み合わせることでより精度の高い結果を得ることが多い。例えば、ソフトウェアの開発工数に影響を与える要因を数式モデルにしたCOCOMO [Boehm 1981]では、専門家の知見から得られた結果を63のプロジェクトの蓄積データで検証し、定量化している。

回帰分析に基づく方法に限らず、コストモデルの構築では蓄積データが重要な役割を果たす。蓄積データのデータ項目数が多いほど、また収集したプロジェクト数が多いほど、更に収集データの値の信頼度が高いほど分析結果の精度は高くなる。IPA/SECが2004年から収集しているエンタープライズ系ソフトウェアプロジェクトデータには3,000件を超えるプロジェクトの多くの質的変数のデータが揃っていて、国際的によく知られているISBSGのデータと同様に多くの欠損値を含むものの統計的に処理できる十分なデータ量がある。

本稿ではIPA/SECが収集したエンタープライズ系ソフトウェアプロジェクトデータ [IPA2014] から、開発工数に大きな影響を与える質的変数を選択し、その影響度を定量化した結果を報告する。質的変数はそれぞれ個別に分析をしてお互いの相関は考慮していないが、それでも最初のステップとしては幾分かの情報を読者に提供できるものと考えている。

質的変数の選択にあたっては、これまで重視されてきた平均値の差の大きさとその有意確率 (P 値) に加えて、効果量も判断基準とした。効果量は各要因単独の目的変数に与える影響度の大きさとそれ以外の要因の影響度の大きさを比較した量であり、たとえ平均値の差が大きくても効果量が小さければ、もっと大きな影響要因がほかにあることになる。今回用いた効果量は、平均値の差を標準偏差で正規化したもので、平均値の相対的な差を表すものである。

今回の分析結果はIT Confidence Conference 2014で報告 [Furuyama 2014] したものと大きな差はない。選択基準によって影響要因としてリストアップされなかったものもそれぞれあるが、各変数の与える影響の傾向が異なるものはない。今回、目的変数を生産性ではなく工数にしたこと、効果量を選択基準のひとつに加えたこと、対象データを1世代新しいものにしたこと、業種別の分析を加えたことが新しいことである。

2章で分析対象データを紹介する。3章で分析方法を、4章で分析結果を示す。5章で分析結果に対する考察を、6章でまとめを述べる。

2 分析対象データ

2.1 分析対象プロジェクト

分析対象プロジェクトは、IPA/SECで収集したエンタープライズ系ソフトウェアプロジェクト3,546件 [IPA2014]のうち、次の条件を満たすものを対象とする。

- ① 開発5工程 (基本設計、詳細設計、製造、結合テスト、総合テスト (ベンダ確認)) が揃っている。
- ② FPの実測値 (5001_FP実測値_調整前) が報告されている。

なお、工数のデータはすべてのプロジェクトが報告している。

この条件を満たすプロジェクトは、新規開発で 574 件、改修・保守では 217 件である。

2.2 目的変数と説明変数

(1) 目的変数

目的変数は工数とする。工数は様々な項目名で収集しているが、工数の値としては「開発 5 工程工数」すなわち、開発 5 工程に含まれる、開発工数、管理工数、その他の工数をすべて加えた総工数をとる。

(2) 説明変数

ソフトウェアプロジェクトで扱う変数には、比尺度に従うもの、名義尺度または順序尺度に従うものがある。前者を量的変数、後者を質的変数と呼ぶことができる。

量的変数には、工数に最も影響を与える「規模」以外に、工程進捗に伴って得られる中間生産物や作業結果に関するもの、例えば仕様書枚数、レビュー指摘件数、テストケース数、バグ数などがある。しかし、規模以外の変数の値は開発が進んでから得られるものであること、また多くは規模と強い相関があることから、本稿では取り上げない。規模については、開発すべき機能量としての FP 規模を変数とする。

質的変数のうち順序尺度に従うものは、実績の評価などプロジェクト終了後に実施されて値が得られるものを除くと、代表的な変数は 45 個と考えられる。これらの 45 個の変数は、「要求レベル (の高さ)」のようにプロジェクト計画段階で早期にわかるものか、またはツールの利用や作業スペースのようにプロジェクトの遂行にあたってプロジェクト管理者や企業レベルでコントロールできるものである。質的要因の候補としてとりあげる 45 個の質的変数を表 1 に示す。表中の変数の頭に付いた番号はデータ白書で定義されたものである。データ白書では類似の変数を 100 番台が同じものでグループ化しているので、これを参考にしながら、表 1 では変数をその変数の意味を考慮して 5 つのグループに分類している。

名義尺度に従うもののうち、代表的な変数として業種とアーキテクチャを取り上げる。名義尺度に従う変数では、分析に耐えられるだけのデータが揃っている名義のもののみを対象とする。名義尺度に従う質的変数を表 2 に示す。ただし、これらの変数の値は計画段階ではわかっているもののプロジェクト管理者や組織レベルではコントロールできないものであり、分析結果は参考値に過ぎない。

質的変数を説明変数とする場合は、分析結果の頑健性を高めるために、次の条件を満たすものとする。

- ① データ数 (回答数) が 50 件以上ある。
- ② 各レベルに属する回答数はすべて 10 件以上ある。
- ③ 回答の内容が極端に偏っていない。具体的には、偏

表 1 影響要因の候補 (質的変数: 順序尺度に従うもの)

分類	変数 (*1)
開発プロジェクト全般 (11)	111_ 新技術利用 / 112_ 役割分担_ 責任所在 / 113_ 達成目標_ 優先度_ 明確度合 / 1011_ 定量的出荷品質基準_ 有無 / 1013_ 第三者レビューの有無 / 5241_ 品質保証体制_ 基本設計
	114_ 作業スペース / 115_ プロジェクト環境_ 騒音 計画の評価 (120_ コスト / 121_ 品質 / 122_ 工期)
ツールの利用 (11)	302_ 業務パッケージ / 403_ 類似プロジェクト / 404_ プロジェクト管理ツール / 405_ 構成管理ツール / 406_ 設計支援ツール / 407_ ドキュメント作成ツール / 408_ デバッグ_ テストツール / 409_ CASE ツール / 411_ コードジェネレータ / 412_ 開発方法論利用 / 422_ 開発フレームワーク
ユーザ側 (9)	501_ 要求仕様_ 明確さ
	ユーザ担当者 (502_ 要求仕様関与 / 509_ 受け入れ試験関与 / 503_ システム経験 / 504_ 業務経験 / 507_ 設計内容理解度) / 505_ ユーザとの役割分担_ 責任所在_ 明確度合 / 506_ 要求仕様_ ユーザ承認有無 / 508_ 設計_ ユーザ承認有無
要求レベル (8)	要求レベル (512_ 信頼性 / 513_ 使用性 / 514_ 性能・効率性 / 515_ 保守性 / 516_ 移植性 / 517_ ランニングコスト要求 / 518_ セキュリティ)、519_ 法的規制
開発担当者 (6)	601_ PM スキル
	要員スキル (602_ 業務分野経験 / 603_ 分析・設計経験 / 604_ 言語・ツール利用経験 / 605_ 開発プラットフォーム使用経験) 1010_ テスト体制

(*1)「/」が項目の区切りを表す。番号はデータ白書で定義されたもの

表 2 影響要因の候補 (質的変数: 名義尺度に従うもの)

変数	とりうる値 (*1)
201_ 業種 1	製造業、情報通信業、卸売・小売業、金融・保険業、左記以外の業種
308_ アーキテクチャ 1	スタンダード、メインフレーム、2 階層クライアントサーバ、3 階層クライアントサーバ、インターネット・イントラネット

(*1) 値ひとつとそれ以外の値すべての 2 つのレベルで比較する。

り率が -0.7 ~ 0.7 の範囲である。ただし、偏り率は、偏り率 = (上位レベルの回答数 - 下位レベルの回答数) / 総回答数、で定義する。偏り率のとり得る範囲は -1 から 1 であり、上位レベルの回答数が多い場合はプラス、下位レベルの回答数が多い場合はマイナスとなる。上位レベルと下位レベルの回答数が等しい場合、偏り率は 0 となる。

2.3 変数変換

(1) 目的変数

工数は一般に対数正規分布に従うので対数変換する。本稿では直観的に理解しやすい常用対数で変換する。

(2) 順序尺度に従う質的変数

順序尺度に従う変数の多くは 4 つのレベルの値を持つが、各レベル間が等間隔であるという保証はない。今回の分析では 3 レベル以上の値を持つ変数は隣り合うレベル同士を合併して全体で 2 レベルにする (2 値化する)。このときレベルの若番の方を上位レベル、老番の方を下

位レベルと呼ぶ。2レベル化する分割点は複数個あるが、すべての可能な分割点で分割したものを分析対象とする。

(3) 名義尺度に従う質的変数

名義尺度に従う変数に対しては、着目する分類項目とそれ以外の分類項目すべて、の2つの分類にまとめる。例えば、「製造業」と「製造業以外のすべての業種」のように2値化する。

3 分析方法

3.1 分散分析と回帰分析

質的変数の影響を調べるための分析方法として次の3つの方法が考えられる。

[方法1] 質的変数の2つのレベルを2つの群とし、2つの群で工数に差があるかどうかを分散分析で調べる。

[方法2] 質的変数の2つのレベルを2つの群とし、2つの群で生産性(=工数/FP)に差があるかどうかを分散分析で調べる。

[方法3] 工数を目的変数とし、質的変数とFP規模を説明変数とする重回帰分析を行う。ただし、ここでは2つの群の誤差分散(回帰からの残差の分散)、回帰係数ともに等しいという仮定を設ける。

工数への影響要因の最大のものが規模であることはよく知られている。[方法1]は規模の影響を無視しているため、分析の精度に問題があると考えられる。例えば、質的変数のレベルに応じた2つの群のうち群1は相対的にFP規模が小さいプロジェクトが集まり、群2ではFP規模が大きなプロジェクトが集まっているとすると、正確な結果は期待できない。[方法2]は工数がFPに比例するという仮定が設けられている(情報量を減らしている)ことから[方法3]より劣ると考えられる。

以上のことから今回は[方法3]で分析することとする。質的変数は上位レベルと下位レベルの2値しかとらないため、質的変数の偏回帰係数の値はFP規模が等しいと仮定した場合の2つのレベルそれぞれの平均値の差に相当する。

3.2 説明変数の選択基準

回帰分析により、目的変数に影響を与える説明変数を選択する場合、説明変数の係数のP値が統計的に有意であるかどうかで判断することが多い。しかし、P値はデータ数Nに依存し、Nが大きくなれば真の傾きがゼロでない限り必ず有意となる。従ってP値の有意性だけで説明変数を選択すると実際には意味のないような係数の小さなものまで選択してしまう可能性が生じる。

それを避けるために係数の絶対値の大きさも考慮する必要があるが、単に係数の絶対値の大きさだけ見てい

てもわからないことがある。例えば、誤差分散が大きい場合は誤差変動も大きくなり、係数の絶対値が大きくてもその変数の総変動に寄与する割合は相対的に小さくなる。そのため、説明変数が目的変数に与える影響の度合いを示す指標を導入する必要がある。それが一般に効果量と呼ばれるものである。

効果量としては様々なものが定義されている。例えば回帰分析における寄与率(決定係数)もそのひとつである。しかし、プロジェクト計画時には規模はおおむね定まっているため、規模を除いた効果量の方が実際的であると考えられる。このことから本稿では母集団における平均値の差を標準偏差で正規化した次の量 δ を用いる[Cohen 1977]。

$$\delta = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\sigma} \quad (1)$$

ただし、 μ_1 は上位レベルの群の平均値、 μ_2 は下位レベルの群の平均値である。式(1)の分子は質的変数の偏回帰係数から、分母は回帰からの誤差分散Veの平方根から推定する。

各選択条件の選択基準を次のように定め、すべての基準を満たすものを目的変数に対する影響要因とする。

(1) P値

係数がゼロでないかどうか(2つの群の平均値に差があるかどうか)を判断するための有意水準(P値)は統計学で標準的に使われている5%とする。

(2) 回帰係数

本稿では、回帰係数の値が $\log 1.5 = 0.176$ 以上のものを選択基準とする。これは2つのレベルそれぞれのプロジェクト群の工数に関する中央値に相当する値の比が1.5倍以上であることを意味する。なお、本稿では、上位レベルを0、下位レベルを1として分析しているため、係数がプラスの場合は、上位レベルの群の方が下位レベルのものよりも工数が少ないことを表す。

(3) 効果量 δ

δ の値が0.5以上のものとする。これはCohenの提案した「大」「中」「小」の基準のうちの「中」程度の基準である[Cohen 1977]。

4 分析結果

質的変数(名義尺度及び順序尺度に従う変数)のうち、3.2で述べた影響要因の選択基準を満たした質的変数を表3(新規開発の場合)と表4(改修・保守の場合)に示す。表3と表4の工数比率と実現確率の欄の意味については考察で議論する。

表3と表4のすべての群について、FP規模と工数それぞれの歪度と尖度を求めたところ、新規開発(表3)で

はすべての群で±1の範囲に入っていて正規分布から逸脱している可能性は低い。改修・保守では、歪度が±1を超えているものが1件(407_ドキュメント作成ツールの上位レベルの工数:1.03)あった。また、尖度が±1を超えているものが14件あったが、そのうち1.2

を超えているものは5件、絶対値が最大のものでも-1.5(1010_テスト体制)である。この結果から、改修・保守でも正規分布からの大きな逸脱はないと考えられる。

以下の結果はすべてFP規模が同一と仮定した場合のものである。

表3 影響要因として選択された質的変数(新規開発)

分類	変数名	内容		データ数 N			質的変数		誤差分散 Ve	効果量 δ	工数比率	実現確率 (%)
		上位レベル	下位レベル	総数	上位レベル	下位レベル	係数 (*1)	P 値 (%)				
業種	201_業種1	製造業	左記以外	513	160	353	0.28	0.0	0.115	0.81	1.88	72
		金融・保険業	左記以外	513	135	378	-0.28	0.0	0.116	-0.82	1.91	72
プロジェクト全般	112_役割分担_責任所在	a:非常に明確	b:概ね明確+c:やや不明確+d:不明確	255	96	159	0.23	0.0	0.136	0.63	1.71	67
	113_達成目標_優先度_明確度合	a:非常に明確	b:概ね明確+c:やや不明確+d:不明確	232	81	151	0.27	0.0	0.130	0.76	1.88	70
	115_プロジェクト環境_騒音	a+b:(小さい)(*2)	c+d:(大きい)(*2)	211	179	32	-0.29	0.0	0.134	-0.79	1.94	71
	5241_品質保証体制_基本設計	a:プロジェクトメンバが実施	b:品質保証の専門スタッフが実施	213	150	63	0.25	0.0	0.130	0.68	1.76	69
ツール利用	404_プロジェクト管理ツール利用	a:有り	b:無し	201	128	73	-0.20	0.1	0.152	-0.51	1.58	64
	407_ドキュメント作成ツール利用	a:有り	b:無し	179	70	109	0.37	0.0	0.115	1.10	2.36	78
	408_デバッグ_テストツール利用	a:有り	b:無し	178	66	112	-0.23	0.0	0.146	-0.60	1.69	66
ユーザ側	509_ユーザ担当者_受け入れ試験関与	a:十分に関与+b:概ね関与	c:関与が不十分+d:全く関与していない	185	148	37	-0.28	0.0	0.141	-0.74	1.89	70
要求レベル	512_要求レベル_信頼性	a:極めて高い+b:高い	c:中位+d:低い	192	96	96	-0.22	0.0	0.146	-0.58	1.66	66
	518_要求レベル_セキュリティ	a:極めて高い+b:高い	c:中位+d:低い	178	80	98	-0.38	0.0	0.118	-1.11	2.41	78
	519_法的規制有無	a:業務レベルの規制あり+b:一般法レベルの規制あり	c:規制なし	159	78	81	-0.22	0.0	0.131	-0.62	1.67	67
開発担当者	602_要員スキル_業務経験	a:全員が十分な経験	b+c+d(左記以外)(*2)	244	59	185	-0.22	0.0	0.148	-0.57	1.65	66

(*1) 2つの群の平均値の差に相当。 (*2) 具体的なレベルの内容は付録を参照のこと。

表4 影響要因として選択された質的変数(改修・保守)

分類	変数名	内容		データ数 N			質的変数		誤差分散 Ve	効果量 δ	工数比率	実現確率 (%)
		上位レベル	下位レベル	総数	上位レベル	下位レベル	係数 (*1)	P 値 (%)				
アーキテクチャ	308_アーキテクチャ1	a:スタンドアロン	左記以外	217	33	184	0.46	0.0	0.144	1.21	2.89	80
		e:イントラネット/インターネット	左記以外	217	73	144	-0.22	0.0	0.161	-0.55	1.66	65
プロジェクト全般	5241_品質保証体制_基本設計	a:プロジェクトメンバが実施	b:品質保証の専門スタッフが実施	74	48	26	0.38	0.0	0.154	0.97	2.40	75
ツール利用	403_類似プロジェクト_有無	a:有り	b:無し	55	39	16	0.30	1.9	0.175	0.72	2.00	69
	404_プロジェクト管理ツール利用	a:有り	b:無し	111	54	57	-0.38	0.0	0.170	-0.91	2.38	74
	407_ドキュメント作成ツール利用	a:有り	b:無し	109	34	75	0.40	0.0	0.168	0.98	2.52	76
ユーザ側	501_要求仕様_明確さ	a:非常に明確+b:かなり明確	c:ややあいまい+d:非常にあいまい	107	76	31	0.25	0.8	0.185	0.58	1.78	66
要求レベル	512_要求レベル_信頼性	a:極めて高い+b:高い	c:中位+d:低い	98	54	44	-0.26	0.4	0.187	-0.60	1.82	66
	518_要求レベル_セキュリティ	a:極めて高い+b:高い	c:中位+d:低い	99	39	60	-0.36	0.0	0.178	-0.85	2.28	73
	519_法的規制有無	a:業務レベルの規制あり+b:一般法レベルの規制あり	c:規制なし	92	38	54	-0.39	0.0	0.175	-0.93	2.44	74
開発担当者	601_PMスキル	a:b:c:(レベル4以上)(*2)	d:レベル3(*2)	96	77	19	0.48	0.0	0.178	1.13	2.99	79
	1010_テスト体制	a:b:c:(スキル、員数のいずれかが十分)	d:スキル、員数ともに不足	100	85	15	0.40	0.2	0.187	0.92	2.50	74

(*1) 2つの群の平均値の差に相当。 (*2) ITスキル標準(バージョン1)の職種「プロジェクトマネジメント」に基づく

4.1 新規開発プロジェクト

- 業種別では、製造業がほかの業種より工数が少なく、金融・保険業は工数が多い。
- アーキテクチャでは差がみられない（スタンドアロンとメインフレームは偏り率が大きく分析対象外とした）。
- プロジェクト全般では、112_ 役割分担_ 責任所在及び 113_ 達成目標_ 優先度_ 明確度合がそれぞれ非常に明確な場合は工数が少ない。115_ プロジェクト環境_ 騒音では騒音のある方が工数は少ない。5241_ 品質保証体制_ 基本設計では「プロジェクトメンバが実施」する方が「品質保証の専門スタッフが実施」するよりも工数が少ない。
- ツールを利用する方が利用しない場合よりも工数が少ないものは、407_ ドキュメント作成ツールだけであり、404_ プロジェクト管理ツール及び 408_ デバッグ_ テストツールでは利用している群の方の工数が多い。
- ユーザ側では、509_ ユーザ担当者が受け入れ試験に関与している方の工数が多い。
- 要求レベルでは、512_ 要求レベル_ 信頼性や 518_ 要求レベル_ セキュリティが高い方が、また 519_ 法的規制が有る方がいずれも工数が多い。
- 開発担当者に関しては、602_ 要員スキル_ 業務分野経験の高い方が工数が多い。
- 最も工数削減に有効と思われるものは、407_ ドキュメント作成ツールの利用である。次いで 113_ 達成目標_ 優先度_ 明確度合を非常に明確にすることである。
- 最も工数を増加させる要因は、518_ 要求レベル_ セキュリティが高いことである。

4.2 改修・保守プロジェクト

- 業種では差がみられない。
- アーキテクチャでは、スタンドアロンはほかのアーキテクチャより工数が少なく、インターネット・イントラネットはほかのアーキテクチャより工数が多い。
- プロジェクト全般では、5241_ 品質保証体制_ 基本設計では「プロジェクトメンバが実施」する方が「品質保証の専門スタッフが実施」するよりも工数が少ない。
- ツールの利用では、403_ 類似プロジェクトがある方が、また 407_ ドキュメント作成ツールを利用する方が工数は少ない。404_ プロジェクト管理ツールを利用する方が利用しないよりも工数が多い。
- ユーザ側では、501_ 要求仕様が明確である方があいまいであるよりも工数が少ない。

- 要求レベルでは、512_ 要求レベル_ 信頼性や 518_ 要求レベル_ セキュリティが高い方が、また 519_ 法的規制がある方がいずれも工数が多い。
- 開発担当者では、601_ PM スキルが高い群（IT スキル標準のレベル 4 以上）が低い群（レベル 3）よりも工数が少なく、また 1010_ テスト体制で（スキル・員数共に不十分）であると工数が多い。ただし、いずれも下位レベルの内容が d レベルだけ、すなわち最も低いレベルだけである。
- 工数削減に最も有効なものは、開発担当者に関するものを除くと 407_ ドキュメント作成ツールの利用である。
- 工数を増加させる主な要因は、5241_ 品質保証体制_ 基本設計を品質保証の専門スタッフが実施すること、404_ プロジェクト管理ツールの利用、518_ 要求レベル_ セキュリティ、519_ 法的規制有無である。

5 考察

5.1 新規開発と改修・保守における影響要因の違い

新規開発と改修・保守の影響要因を比較した結果を表 5 に示す。特徴的なことを次に示す。

- 新規開発では業種によって差がみられ、改修・保守ではアーキテクチャによって差がみられる。
- プロジェクト全般では、112_ 役割分担_ 責任所在を明確にすること、113_ 達成目標_ 優先度を明確にすることは新規開発では効果があることが伺える。5241_ 品質保証体制_ 基本設計では、新規開発、改修・保守いずれも品質保証の専門スタッフが実施すると工数が多くなるが、品質向上の観点からはやむを得ないと考えられる。
- ツールの利用では、404_ プロジェクト管理ツール利用はいずれも工数増に、407_ ドキュメント作成ツール利用はいずれも工数減に働いている。403_ 類似プロジェクトの存在は改修・保守では有効である。
- ユーザ側では、新規開発、改修・保守とも影響要因は 1 件ずつと少ない。
- 要求レベルでは、新規開発、改修・保守とも同じ傾向を示している。
- 開発担当者では、新規開発では 602_ 開発担当者_ 業務分野経験のレベルが高い方の工数が多く、改修・保守では 601_ PM スキルが高い方の工数が少なく、1010_ テスト体制のスキルレベル・員数共に不足している群の工数が多い。

5.2 経験則に合う結果と合わない結果

表 3 と表 4 に示された分析結果は、工数増に作用する

表5 新規開発と改修・保守における影響要因の違い

分類	変数	内容		効果量 δ	
		上位レベル	下位レベル	新規開発	改修・保守
業種	201_業種1	製造業	左記以外	0.81	-
		金融・保険業	左記以外	-0.82	-
アーキテクチャ	308_アーキテクチャ1	a: スタンドアロン	左記以外	-	1.21
		e: イントラネット/インターネット	左記以外	-	-0.55
プロジェクト全般	112_役割分担_責任所在	a: 非常に明確	b: 概ね明確 + c: やや不明確 + d: 不明確	0.63	-
	113_達成目標_優先度_明確度合	a: 非常に明確	b: 概ね明確 + c: やや不明確 + d: 不明確	0.76	-
	115_プロジェクト環境_騒音	a+b: (小さい) (*1)	c+d: (大きい) (*1)	-0.79	-
ツール利用	5241_品質保証体制_基本設計	a: プロジェクトメンバが実施	b: 品質保証の専門スタッフが実施	0.68	0.97
	403_類似プロジェクト_有無	a: 有り	b: 無し	-	0.72
	404_プロジェクト管理ツール利用	a: 有り	b: 無し	-0.51	-0.91
	407_ドキュメント作成ツール利用	a: 有り	b: 無し	1.10	0.98
ユーザ側	408_デバッグ_テストツール利用	a: 有り	b: 無し	-0.60	-
	501_要求仕様_明確さ	a: 非常に明確 + b: かなり明確	c: ややあいまい + d: 非常にあいまい	-	0.58
要求レベル	509_ユーザ担当者_受け入れ試験関与	a: 十分に関与 + b: 概ね関与	c: 関与が不十分 + d: 全く関与していない	-0.74	-
	512_要求レベル_信頼性	a: 極めて高い + b: 高い	c: 中位 + d: 低い	-0.58	-0.60
	518_要求レベル_セキュリティ	a: 極めて高い + b: 高い	c: 中位 + d: 低い	-1.11	-0.85
開発担当者	519_法的規制有無	a: 業務レベルの規制あり + b: 一般法レベルの規制あり	c: 規制なし	-0.62	-0.93
	601_PMスキル	a: + b: + c: (レベル4以上) (*2)	d: レベル3 (*2)	-	1.13
	602_要員スキル_業務経験	a: 全員が十分な経験	b + c + d (左記以外) (*1)	-0.57	-
	1010_テスト体制	a: + b: + c: (スキル、員数のいずれかが十分)	d: スキル、員数ともに不足	-	0.92

(*1) 具体的なレベルの内容は付録を参照のこと。 (*2) ITスキル標準 (バージョン1) の職種「プロジェクトマネジメント」に基づく。

か工数減に作用するかという観点からみて、①納得のいくもの、②意外ではあるが結果を受け入れることができるもの、③筆者の経験則と合わないものに分けることができる。

新規開発の115_プロジェクト環境_騒音、408_デバッグ_テストツール利用、509_ユーザ担当者_受け入れ試験関与が②に属し、新規開発の404_プロジェクト管理ツール利用、602_要員スキル_業務経験、改修・保守の、404_プロジェクト管理ツール利用が③に属す。それ以外はすべて①に属すと考えられる。

②に属するものについては次のような解釈ができる。

- 115_プロジェクト環境_騒音：騒音が大きいと工数が少なくなる（生産性が高くなる）のではなく、コミュニケーションが活発に行われるなどチームが活動的な方が生産性は高くなると解釈することができる。
- 408_デバッグ_テストツール利用：テスト・デバッグツールの利用は、工数という点からはマイナスであるという結果が得られたが、信頼性の向上に役立っている可能性がある。
- 509_ユーザ担当者_受け入れ試験関与：ユーザ担当者が受け入れ試験に関与することは工数にマイナスであるが、信頼性向上には寄与している可能性が高い。

③に属するものについては、なぜ工数増につながるのかは明確ではなく、今後詳細に分析していく必要がある。例えば、404_プロジェクト管理ツールの利用が工数を

増加させるのではなく、工数の大きいプロジェクトでプロジェクト管理ツールを利用してということも考えられるが、規模で補正しているため、この解釈だけでは説明できない。

5.3 結果の解釈

(1) 工数比率

今回の分析方法で求めた係数の値は、上位レベルと下位レベルそれぞれの群の工数の平均値の差に相当する。工数の値は対数変換されているので、平均値の差は元のスケールでは2つの群それぞれの中央値の比の値となる。表3と表4の「工数比率」はその値を示している。ただし、比較しやすいようにすべて工数の多い方の群を少ない方の群で割っている。例えば、表3の407_ドキュメント作成ツール利用では、利用する場合としない場合で工数比率が2.36倍違う。これは利用しないプロジェクト群の工数の中央値が利用したプロジェクト群の工数の中央値の2.36倍であることを示している。このように中央値の比率（対数変換後の平均値の差）からみると、その差は非常に大きくみえる。

(2) 実現確率

ここで効果量 δ の意味を考えてみる。 δ の値は平均値の差が標準偏差の何倍であることを示すものである。ただし、今回は簡単のために母集団のふたつの群の標準偏差は等しいという仮定を設けている。 δ が小さいということは、平均値の差に比べて各群の分散が大きいということ、すなわち対象とする変数による影響に比べて他の要因の影響が大きいということを示している。標準偏差が

大きいとふたつの群の工数の分布は広く重なり合う。重なり合う面積は δ が 1 で 31%、2 で 16%、3 で 17%、4 で 2.3% である。

ここで上位レベル群と下位レベル群からそれぞれランダムにひとつずつ同一 FP 規模のプロジェクト a と b を選び出した場合に、a の工数が b の工数よりも大きくなる確率を考える。ただし、ここでは a は工数が多い群、b は少ない群から選ぶものとする。これを本稿では「実現確率」と名付けてその値を表 3 と表 4 に示している。 δ が大きければ非常に高い確率で $a > b$ となるが、 δ が小さい場合はその確率は低くなる。この計算は、平均が μ_1 と μ_2 、分散がいずれも σ^2 と仮定した 2 つの正規分布からそれぞれ選んだ 2 つの確率変数 X と Y の差の分布が、平均 $\mu_1 - \mu_2$ 、分散 $2\sigma^2$ の正規分布に従うということから計算できる。

例えば、新規開発の 407_ドキュメント作成ツールの利用の実現確率は 78% すなわちほぼ 9 回に 2 回 ($\approx 0.22 = (1 - 0.78)$) はほかの要因の影響によってツールを利用しないプロジェクトの方の工数が少ないことがある、ということになる。このように、それぞれの群の平均値の差だけでなく、標準偏差 (分散) も考慮することによって実際の影響度をより深く理解することができるようになると考えられる。

参考のために、407_ドキュメント作成ツールの利用の有無別の FP 規模と工数の散布図と回帰直線を図 1 に示す。グラフに示された 2 本の回帰直線は次の重回帰式

$$Y = 1.09X_1 + 0.37X_2 + 0.38 \quad (2)$$

において $X_2=0$ (利用あり) の場合と $X_2=1$ (利用なし) の場合のものである。ただし、 X_1 は log FP、 X_2 は 407_ドキュメント作成ツールの利用の有無、Y は log 工数 (人時) である。図 1 の目盛は常用対数で表示しているので、例えば log FP が 2.0 の目盛は元の FP 値では 100FP であることを表す。明らかに利用の有無で工数に差がみられ

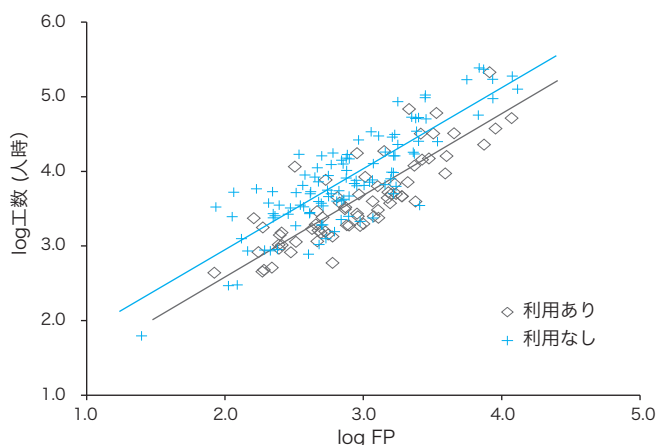


図 1 ドキュメント作成ツール利用の散布図と回帰直線

るが、重なり合う部分も少なくない。

表 3 と表 4 からわかるように、新規開発、改修・保守共に、実現確率は 65 ~ 80% の間にある。影響要因として選定した 2 つの群からそれぞれランダムにひとつずつ同一 FP 規模のプロジェクトを選び出した場合、工数が少ないはずの群からのプロジェクトでも 5 回に 1 回、悪くすると 3 回に 1 回はほかのプロジェクトよりも工数が多くなる。

5.4 業種別分析

表 3 に示したように、業種によって同一規模でも開発工数が異なることから業種で層別して同様の条件で分析を試みた。新規開発の製造業以外はデータ件数が不足して結果を得ることができなかった。新規開発の製造業の分析結果を表 6 に示す。

表 6 からわかる特徴的な事項を次に示す。

- 120_計画の評価 (コスト) が工数削減に有効である。なお、121_計画の評価 (品質) と 122_計画の評価 (工期) も同様の結果であったが、これら 3 つの変数には高い相関があることから意味的に最も妥当な 120_計画の評価 (コスト) のみを表 6 に示した。
- 406_設計支援ツールの利用や 411_コードジェネレータの利用が工数削減に有効である。
- 112_役割分担_責任所在、113_達成目標_優先度_明確度合、407_ドキュメント作成ツール利用は、表 3 で示した結果と同様にいずれも工数削減に有効である。いずれも係数、効果量共に表 3 に示した層別前の結果よりも大きくなり、実現確率は 112_役割分担_責任所在では 84%、407_ドキュメント作成ツールでは 91% になった。

6 まとめ

質的要因が工数に与える影響度を調べた。工数に対して最も大きな影響を与える規模の影響を取り除くために、各質的要因と FP 規模を 2 つの説明変数とする重回帰分析を行い、係数の P 値と大きさ、効果量 δ の 3 つの選択基準のもとで、工数に大きな影響を与える変数を選択した。

今回の分析は各質的要因単独に対して行ったので、質的要因間の相関は無視したものとなっている。そのため複数の変数を組み合わせて重回帰分析を行った場合は異なった結果になっているものと思われる。とはいえ、変数単独の効果量でもプロセス改善やプロジェクト計画時の見積もりに対するひとつの参考情報になりうる。

今回の分析結果で次のことが明らかになった。

- 新規開発、改修・開発のいずれの開発種別でも、工数削減 (生産性向上) に大きく寄与するのは、ドキュ

表6 影響要因として選択された質的変数（新規開発：製造業）

分類	変数名	内容		N			質的変数		誤差分散 Ve	効果量 δ	工数比率	実現確率 (%)
		上位レベル	下位レベル	総数	上位レベル	下位レベル	係数 (*1)	P 値 (%)				
アーキテクチャ	308_アーキテクチャ1	c:2階層クライアント/サーバ	左記以外	159	24	135	0.18	1.4	0.108	0.55	1.52	65
プロジェクト全般	112_役割分担_責任所在	a:非常に明確	b:概ね明確+ c:やや不明確+ d:不明確	89	39	50	0.42	0.0	0.090	1.40	2.62	84
	113_達成目標_優先度_明確度合	a:非常に明確	b:概ね明確+ c:やや不明確+ d:不明確	70	33	37	0.34	0.0	0.097	1.09	2.18	78
	120_計画の評価(コスト)	a:コスト算定の根拠が明確で実行可能性を検討済み	b:コスト算定の根拠が不明確、又は実行可能性を未検討+ c:計画なし	108	74	34	0.24	0.1	0.107	0.72	1.73	70
ツール利用	406_設計支援ツール利用	a:有り	b:無し	52	39	13	0.28	0.4	0.085	0.97	1.91	75
	407_ドキュメント作成ツール利用	a:有り	b:無し	54	32	22	0.44	0.0	0.056	1.86	2.75	91
	411_コードジェネレータ利用	a:有り	b:無し	55	23	32	0.30	0.1	0.083	1.04	2.00	77
ユーザ側	502_ユーザ担当者_要求仕様関与	a:十分に関与	b:概ね関与+ c:関与が不十分+ d:未関与	62	23	39	0.28	0.2	0.104	0.87	1.90	73

(*1) 2つの群の平均値の差に相当

メント作成ツールの利用である。

- いずれの開発種別でも、要求レベルの高さが工数の増加（生産性の低下）を招く。
- 品質保証体制_基本設計をプロジェクトで行わずに品質保証部門に委ねると工数が増加する。ただし、品質向上の観点からはやむを得ないと考えられる。
- 新規開発で工数削減に効果のあるものは、113_達成目標_優先度_明確度合と112_役割分担_責任所在である。
- 新規開発で工数の増加に影響を与えるものには、デバッグ_テストツールの利用、ユーザ担当者_受け入れ試験関与があるが、品質向上の観点からは必要なものであると考えられる。
- 改修・保守で工数削減に効果のあるものは、類似プロジェクトの利用、要求仕様の明確化、PM スキルレベルが低くないこと、テスト体制においてスキルレベル及び員数のいずれも不十分でないことがあげられる。
- 製造業の新規開発で層別した結果は、新規開発全体で分析した結果と矛盾はなく、新たに120_計画の評価(コスト)が十分な場合、406_設計支援ツールを利用する場合、411_コードジェネレータを利用する場合に工数削減が期待できる。

今後は、経験則と一致しない結果の詳細分析や交互作用の影響なども考慮した、より精度の高い分析を進めていく予定である。

謝辞

本研究は東海大学とIPA/SECが共同で実施したものである。松本所長、山下リーダー並びにSEC研究員の方々のご協力に深く感謝致します。

付録

変数の各レベルの内容

(1) 115_プロジェクト環境_騒音

- a: 騒音による影響は全くなく、電話による作業中断も最低限
- b: 騒音はほとんど気にならない。電話による作業中断は時々ある
- c: 時としてかなりの騒音があり、電話も作業が時々中断する
- d: 騒音がひどく、必要な集中力が維持できない。電話による作業中断も一時間毎以上の頻度である

(2) 602_要員スキル_業務経験

- a: 全員が十分な経験
- b: 半数が十分な経験、残り半数はいくらかの経験
- c: 半数がいくらかの経験、残り半数は経験なし
- d: 全員が経験なし

【参考文献】

- [Jørgensen 2007] Jørgensen, M, and Shepperd, M.: A Systematic Review of Software Development Cost Estimation Studies, IEEE Trans. Software Engineering, Vol.33, No.1, pp.33-53 (2007) .
- [Boehm 1981] Boehm, B. W.: Software Engineering Economics, p. 767, Prentice-Hall, Inc. (1981) .
- [IPA 2014] 独立行政法人情報処理推進機構 (IPA) 技術本部 ソフトウェア信頼化センター (SEC) 監修: ソフトウェア開発データ白書 2014-2015, 2014年.
- [Furuyama 2014] Furuyama, T.: Analysis of Factors that Affect Productivity of Enterprise Software Projects, IT Confidence Conference 2014 (2014) .
- [Cohen 1977] Cohen, J.: Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences, Rev. ed., p.474, Academic Press (1977) .