

ソフトウェアプロジェクトデータにおける量的変数の予実差分析

東海大学理学部 教授
IPA/SEC 専門委員
古山 恒夫

IPA/SECで収集したエンタプライズ系ソフトウェアプロジェクトデータから、開発種別ごとにFP規模、工数、工期の予実差を求めた。予実差は各変数の計画値と実績値を対数変換してから回帰分析により計算した。その結果、新規開発プロジェクトではFP規模、工数、工期すべてプロジェクトの大きさによらず実績値が計画値を上回る傾向にあること、改修・保守ではプロジェクトが大きくなると実績値が計画値を下回る傾向にあること、新規開発プロジェクトのFP規模以外はプロジェクトが大きくなるに従って予実比率(=実績値/計画値)が低下する傾向が見られること、工期の予実差の推定式からのばらつきは、FP規模や工数に比べて小さいことが分かった。

1 はじめに

規模・工数・工期の3つの代表的な量的変数に関する計画値と実績値の予実差分析は既にデータ白書で報告されている [IPA2010]。しかし、これらの3つの量的変数はいずれも対数正規分布に従うことから [古山2011]、予実差分析においても、収集したデータの値を対数変換することでモデル化が容易になり、より詳細な分析が出来ると考えられる。

本稿ではこれら3つの量的変数の対数変換後の予実差、すなわち対数変換前の予実比率(=実績値/計画値)の分析結果を報告する。モデル化をすることにより、データ白書に比べて、プロジェクトの大きさの変化に伴う予実比率の変化の傾向を明らかにしたこと、及び開発種別ごとにFP規模・工数・工期の予実比率を横断的に俯瞰したことが主な特徴である。

2 分析対象プロジェクト

2.1 分析対象プロジェクト

分析は、2011年4月末までにIPA/SECで収集したエンタプライズ系ソフトウェアプロジェクトデータ2,847件を対象に行った。

2.2 目的変数と説明変数

FP規模、工数、工期の予実差分析における、目的変数はそれぞれの「実績値」を、説明変数はそれぞれの「計画値」をそれぞれ常用対数で対数変換したものとする。

① FP規模

- ・目的変数： $\log(\text{FP 規模 (実績値)})$
 $= \log(5001_FP \text{ 実測値 } _ \text{調整前})$
- ・説明変数： $\log(\text{FP 規模 (計画値)})$
 $= \log(5084_ \text{調整前 FP 計画値 } _ \text{基本設計後})$

② 工数

- ・目的変数： $\log(\text{工数 (実績値)})$
 $= \log(10050_ \text{実績工数 (総計人時)} _ \text{プロジェクト全体})$
- ・説明変数： $\log(\text{工数 (計画値)})$
 $= \log(11015_ \text{プロジェクト開発工数計画値 (基本設計開始時点)})$

③ 工期

工期はプロジェクト開始日から終了日までのカレンダー日数を用いる。

- ・目的変数： $\log(\text{工期 (実績値)})$
 $= \log(\text{実績日数 } _ \text{開発5工程})$

- ・説明変数：log（工期（計画値））
= log（計画日数_開発5工程）

2.3 データ件数

一般に回帰分析を行うためには少なくとも30件程度のデータは必要であると言われているので、ここでも30件以上データの揃っている層を分析対象とする。

3 分析結果

3.1 見積り過不足のプロジェクト件数

新規開発プロジェクト143件のFP規模の予実比率を対数変換して大きさの順に並べたものを図1に示す。このような図を描くことにより、予実比率が1と等しい（対数をとると0になる）プロジェクト、1より大きいプロジェクト、小さいプロジェクトそれぞれの割合と誤差の分布状況が把握出来る。

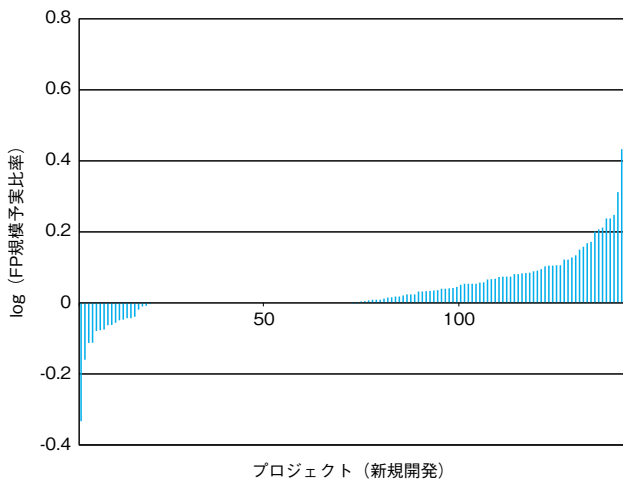


図1 新規開発プロジェクトのFP規模の予実比率

図1のような分布状況をもとに、FP規模、工数、工期それぞれに関する、開発種別ごとの見積り過不足のプロジェクト件数を調べた結果を表1～表3に示す。表1～表3では、対数変換後の予実差が±0.0043以内（対数変換前の予実比率が99%から101%）のものを「計画通り」としている。表1～表3から次のことが分かる。

- FP規模に関しては、新規開発では見積り不足（実績値が計画値の101%を超える）のプロジェクトが半数近く（48%）あるのに対し、改修・保守では7割のプロジェクトが計画通りである（表1）。

- 工数に関しては開発種別によらず半分以上（50%～59%）のプロジェクトが見積り不足となっている（表2）。
- 工期に関しては開発種別によらず半分以上のプロジェクトが計画通りとなっている（表3）。

表1 FP規模見積りの過不足プロジェクト件数

開発種別	見積り状況			合計
	過多	計画通り	不足	
新規開発	18 (13%)	56 (39%)	69 (48%)	143
改修・保守	7 (12%)	41 (71%)	10 (17%)	58

表2 工数見積りの過不足プロジェクト件数

開発種別	見積り状況			合計
	過多	計画通り	不足	
新規開発	168 (29%)	78 (13%)	342 (58%)	588
改修・保守	116 (29%)	81 (21%)	196 (50%)	393
再開発	15 (22%)	13 (19%)	40 (59%)	68
拡張	39 (25%)	30 (19%)	86 (56%)	155

表3 工期見積りの過不足プロジェクト件数

開発種別	見積り状況			合計
	過多	計画通り	不足	
新規開発	75 (15%)	254 (51%)	168 (34%)	497
改修・保守	49 (17%)	185 (64%)	56 (19%)	290
再開発	8 (16%)	31 (61%)	12 (23%)	51
拡張	25 (14%)	96 (56%)	52 (30%)	173

3.2 対数変換後の回帰分析

FP規模、工数、工期それぞれに関する対数変換後の回帰分析の結果を表4～表6に示す。

表4から次のことが分かる。

- 従属変数（実績値）の変動を独立変数（計画値）の値でどれだけ説明出来るかを表す寄与率は、新規開

発プロジェクトでは0.954と高く、実績値はほぼ計画値から説明されることが分かる（実績値が計画値と等しいという意味ではないことに注意）。改修・保守の寄与率は0.884と新規開発ほど高くはなく、計画値に対する実績値にややばらつきがある。

- 新規開発の回帰直線の傾きは1.028であり、統計的に有意ではないが、FP規模の計画値が大きくなるにつれて少しずつ予実比率が大きくなる傾向が見られる。一方、改修・保守の回帰直線の傾きは0.909（有意水準5%で傾きが1ではない）で、FP規模の計画値が大きくなるにつれて予実比率が小さくなる。

表4 FP規模の計画値に対する実績値の回帰分析

開発種別	標本数	対数変換後の回帰分析			
		寄与率	傾き	切片	標準誤差
新規開発	143	0.954	1.028	-0.046	0.098
改修・保守	58	0.884	0.909	0.215	0.160

表5から次のことが分かる

- 寄与率は、新規開発が0.906と最も高く、再開発が0.764と低い。改修・保守と拡張はその中間である。
- 回帰直線の傾きは、開発種別によらず1より小さい。すなわち工数の計画値が大きくなるにつれて予実比率が減少する。このうち改修・保守と拡張は統計的に有意である（改修・保守が5%有意、拡張が1%有意）。再開発は他より標本数が少なく統計的に有意にはならない。新規開発の傾きは0.990とほぼ1に近く、工数の予実比率の変化はプロジェクトの大きさには依存していないと言ったほうが適切である。

表5 工数の計画値に対する実績値の回帰分析

開発種別	標本数	対数変換後の回帰分析			
		寄与率	傾き	切片	標準誤差
新規開発	588	0.906	0.990	0.089	0.200
改修・保守	393	0.892	0.961	0.180	0.221
再開発	68	0.764	0.907	0.449	0.261
拡張	155	0.874	0.901	0.410	0.197

表6から次のことが分かる。

- 寄与率はすべての開発種別で0.9を超えていて、実績

値が計画値から説明される割合が高い。

- 傾きはすべての層で1より小さい。すなわち、工期の計画値が大きくなるに従って予実比率が小さくなる（改修・保守は1%有意、拡張は5%有意）。ただし、再開発の傾きは0.990とほぼ1に近く、工期の予実比率はプロジェクトの大きさに依存していないと言ったほうが適切である。

表6 工期の計画値に対する実績値の回帰分析

開発種別	標本数	対数変換後の回帰分析			
		寄与率	傾き	切片	標準誤差
新規開発	497	0.925	0.976	0.073	0.079
改修・保守	290	0.953	0.966	0.077	0.071
再開発	51	0.977	0.990	0.035	0.042
拡張	173	0.944	0.960	0.103	0.062

3.3 予実比率の推定値と見積り不足となる確率

対数変換後の回帰分析の結果は一般に必ずしも直観的ではない。そこで予実比率の傾向が理解しやすくなるように、3つの代表的なプロジェクトとして「典型的なプロジェクト」、「大きなプロジェクト」、「小さなプロジェクト」を選んで、それぞれの予実差を対数逆変換することにより予実比率として示すことにする。「典型的なプロジェクト」とは、計画値の対数変換後の平均値 \bar{X} に対応する大きさのプロジェクト、「大きなプロジェクト」と「小さなプロジェクト」はそれぞれ $\bar{X} \pm 2\sigma_x$ に対応する規模のプロジェクトと定義する。ただし、 σ_x は対数変換後の計画値の標準偏差である。また、これらのプロジェクトの大きさを表す計画値は、直観的に把握しやすいように丸めたものを用いている。「大きなプロジェクト」と「小さなプロジェクト」は、それぞれ大きいほうから2.3%、小さいほうから2.3%に相当するものであり、95.4%のプロジェクトがこの範囲にあると考えて良い。なお、これら3つの代表的なプロジェクトはFP規模、工数、工期ごとに異なる集合から得られたものであることに注意して欲しい。

表7～表9にFP規模、工数、工期それぞれに関する予実比率の推定値及び実績値が計画値よりも大きくな

る、言い換えると見積り不足となるプロジェクトの確率を示す。この値は、対数変換後の計画値 X に対する対数変換後の実績値 Y の推定値を \hat{Y} としたとき、

$$t = \frac{\hat{Y} - (aX + \hat{b})}{\sqrt{\left\{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X - \bar{X})^2}{ns_{xx}}\right\} V_e}}$$

が自由度 $n - 2$ の t 分布に従うことから、この分布で $\hat{Y} \geq X$ となる確率から求めている。ただし、 \hat{a} と \hat{b} は X に対する Y の回帰分析での回帰係数、 n はデータ数、 \bar{X} は X の平均値、 s_{xx} は X の標本分散、 V_e は予測誤差の分散の不偏推定値である [古山 2012]。

以下に示す表7～表9では、計画値の欄の上段に「大きなプロジェクト」の値、中段に「典型的なプロジェクト」の値、下段に「小さなプロジェクト」の値を示している。

表7からFP規模の見積りに関して次のことが分かる。

- 新規開発における「典型的なプロジェクト」(870FP)での予実比率の推定値は1.09である。実績値が計画値を上回る確率は0.64で、おおむね3件に2件のプロジェクトは実績値が計画値より大きくなると推定される。
- 新規開発の「小さなプロジェクト」から「大きなプロジェクト」までの範囲にあるFP規模(120～6,400FP)では、実績値が計画値を上回る確率が0.5を超えていることから、[IPA2010]で既に指摘されているように新規開発プロジェクトでは常に計画値よりも実績値が大きくなる(過小見積りする)傾向にあると言える。
- 改修・保守の「典型的なプロジェクト」(320FP)の予実比率の推定値は0.97、実績値が計画値を上回る確率は0.47であり、平均的には実績値はほぼ計画値通りと言える。
- 改修・保守では「典型的なプロジェクト」より大きい(320FPを超える)プロジェクトでは、実績値が計画値を上回るプロジェクトは半分以下であり(過大見積りの傾向が強く)、とくに3,000FP程度の「大きなプロジェクト」では1/4程度(27%)しかない。すなわち、「大きなプロジェクト」では3/4程度のプロジェクトが過大見積りをしている。逆に「小さなプロジェクト」では2/3を超える(69%)プロジェク

トで実績値が計画値を上回る。

表7 FP規模の予実比率と見積り不足となる確率

開発種別	計画値 (FP)	予実比率 (推定値)	実績値>計画値となる確率
新規開発	6,400	1.15	0.73
	870	1.09	0.64
	120	1.03	0.55
改修・保守	3,000	0.79	0.27
	320	0.97	0.47
	30	1.21	0.69

表8から工数の見積りに関して次のことが分かる。

- 「典型的なプロジェクト」の工数の予実比率の推定値は開発種別によらず1を超えている(過小見積りを行っている)。
- 「小さなプロジェクト」ではその傾向がより顕著であり、実績値が計画値を上回る確率は新規開発で0.62(約3/5)、改修・保守で0.65(約2/3)、再開発で0.75(3/4)、拡張で0.78(約4/5)となっている。
- 「大きなプロジェクト」の予実比率の推定値は、「新規開発」以外は1より小さくなる。とくに拡張プロジェクトでは実績値が計画値を上回る確率は0.35となり、2/3が過大見積りの傾向を取ることが分かる。
- 新規開発の「小さなプロジェクト」から「大きなプロジェクト」までの範囲にある工数(490～163,000人時)

表8 工数の予実比率と見積り不足となる確率

開発種別	計画値 (人時)	予実比率 (推定値)	実績値>計画値となる確率
新規開発	163,000	1.09	0.57
	9,000	1.12	0.60
	490	1.15	0.62
改修・保守	104,000	0.96	0.47
	5,000	1.08	0.56
	240	1.22	0.65
再開発	97,000	0.96	0.48
	8,900	1.20	0.62
	820	1.50	0.75
拡張	83,000	0.84	0.35
	5,900	1.09	0.58
	410	1.42	0.78

では、実績値が計画値を上回る確率が0.5を超えていることから、新規開発プロジェクトでは常に計画値よりも実績値が大きくなる（過小見積りする）傾向にあると言える。

表9から工期の見積りに関して次のことが分かる。

- 「典型的なプロジェクト」の予実比率の推定値は、開発種別によらず1を超えている（過小見積りを行っている）。しかし、改修・保守の「大きなプロジェクト」では実績値が計画値を上回る確率が0.40となり、過大見積りの傾向が強くなる。
- 新規開発の「小さなプロジェクト」から「大きなプロジェクト」までの範囲にある工期（49～656日）で実績値が計画値を上回る確率が0.5を超えていることから、新規開発プロジェクトでは常に計画値よりも実績値が大きくなる（過小見積りする）傾向にあると言える。

表9 工期の予実比率と見積り不足となる確率

開発種別	計画値 (日)	予実比率 (推定値)	実績値>計画値 となる確率
新規開発	656	1.01	0.52
	179	1.04	0.59
	49	1.08	0.66
改修・保守	630	0.96	0.40
	138	1.01	0.53
	30	1.06	0.65
再開発	724	1.01	0.56
	204	1.03	0.61
	58	1.04	0.65
拡張	481	0.99	0.48
	140	1.04	0.61
	41	1.09	0.73

4 考察

4.1 予実比率の推定値と見積り不足となる確率

FP 規模、工数、工期と開発種別の予実差を横断的に俯瞰するために、表7～表9の新規開発と改修・保守の数値をまとめて表10に再掲する。FP 規模、工数、工期それぞれの間では予実差計算のための集合が異なるが、大きな意味での傾向は読み取ることが出来る。例えば、表10の1行目については、6,400FPの規模のソフトウェアを163,000人時の工数で656日かけて開発する

仮想的なプロジェクトの場合を示している。予実比率の大きさの順序と見積り不足となる確率の大きさの順序が必ずしも対応していないのは、変数によって標準誤差が異なるためである。

表10から次のことが読み取れる。

(1) 全般的傾向

- 新規開発のFP 規模以外はプロジェクトが大きくなるにつれて予実比率が小さくなる。

(2) 新規開発プロジェクト

- 予実比率の推定値はプロジェクトの大きさによらずすべて1より大きく、新規開発プロジェクトの計画立案の困難さが伺える。
- FP 規模はプロジェクトが大きくなるにつれて予実比率が大きくなる。新規開発ではプロジェクトが大きくなるに伴いFP 規模の見通しが立ちにくい、あるいは機能追加要求が多くなる傾向が伺える。
- 「大きなプロジェクト」では、工期は平均的にほぼ見積り通りであるが、工数、FP 規模の順に予実比率が大きくなる（実績値が計画値を上回る確率もこの順で大きくなる）。計画値に比べてFP 規模は増えても工数の増加はそこそこで抑え、工期はユーザとの約束通りに何とか守って仕上げるという傾向が伺える。
- 「小さなプロジェクト」では「大きなプロジェクト」と逆の傾向が見られる。すなわち、FP 規模は計画値に近いが工期が若干延び、工数の増加が大きくなり

表10 プロジェクト規模ごとの予実比率
(表7～表9のまとめ)

開発種別	プロジェクト の大きさ	予実比率		
		FP 規模	工数	工期
新規開発	「大きい」	1.15 (0.73)	1.09 (0.57)	1.01 (0.52)
	「典型的」	1.09 (0.64)	1.12 (0.60)	1.04 (0.59)
	「小さい」	1.03 (0.55)	1.15 (0.62)	1.08 (0.66)
改修・保守	「大きい」	0.79 (0.27)	0.96 (0.47)	0.96 (0.40)
	「典型的」	0.97 (0.47)	1.08 (0.56)	1.01 (0.53)
	「小さい」	1.21 (0.69)	1.22 (0.65)	1.06 (0.65)

(注) 括弧内は実績値が計画値を上回る確率

やすい傾向が伺える。

(3) 改修・保守プロジェクト

- FP 規模、工数、工期とも一般に「大きなプロジェクト」では見積り過多、「典型的なプロジェクト」では見積り通り、「小さなプロジェクト」では見積り不足の傾向となる。

4.2 予実差のばらつきと 50% 信頼区間

標準誤差は推定式から得られた実績値の推定値と実測値の平均的な違い（ばらつき）の程度を表すものである。予実差の推定値が実績値の推定値から計画値を引いたものであるため、実績値の標準誤差と予実差の標準誤差は等しくなる。

表 4～表 6 に示された各変数の標準誤差を見ると、開発種別によらず工数の標準誤差が一番大きく、次いで FP 規模の標準誤差、最も小さいのが工期の標準誤差であることが読み取れる。これらの標準誤差を二乗して等分散の検定を行ったところ、同一開発種別内のすべての変数間（例えば新規開発の FP 規模と工数、FP 規模と工期、工数と工期）で統計的に有意（1% 有意）であった。すなわち、推定式からのばらつきは 3 つの変数でそれぞれ異なり、工数、FP 規模、工期の順に小さくなっている。

ただし、計画値の値が、工数は基本設計開始時点、FP 規模は基本設計終了後のものであるため、予実差のばらつきは FP 規模の方が工数よりも小さいとは言い切れない。工期の計画値が基本設計開始時点であると推定されるので、工期の予実差の推定式からのばらつきが最も小さいことになる。

標準誤差の値に 0.6745 を掛けた値が 50% の信頼区間のよい近似となる [古山 2012]。この計算方法を用いて 50% の予実比率の信頼区間を計算した結果を表 11 に示

表 11 予実比率の 50% 信頼区間 (概算値)

開発種別	FP 規模	工数	工期
新規開発	0.86 ~ 1.16	0.73 ~ 1.37	0.89 ~ 1.13
改良・保守	0.78 ~ 1.28	0.71 ~ 1.41	0.90 ~ 1.12
再開発	—	0.67 ~ 1.50	0.94 ~ 1.07
拡張	—	0.74 ~ 1.36	0.91 ~ 1.10

(注) 表中の値は、表 7～表 9 の予実比率に対する倍率を表す。

す。表中の値は表 7～表 9 の予実比率に対する倍率を表す。例えば、新規開発の「典型的なプロジェクト」の FP 規模に関する 50% 信頼区間のおおよその下限値は $1.09 \times 0.86 = 0.94$ 、おおよその上限値は $1.09 \times 1.16 = 1.26$ となる。

表 11 から分かるように、各標準誤差同士の差に統計的な有意差があっても実際の 50% 信頼区間の大きさにそれほど差が見られるわけではない。

5 まとめ

予実差分析では、ソフトウェアプロジェクトデータの他の分析と同じように統計的に有意な結果は少なかったが、次のような大まかな傾向を明らかにすることが出来た。

- 新規開発における予実比率（=実績値/計画値）は FP 規模、工数、工期ともプロジェクトの大きさによらずすべて 1 より大きい。とくに「大きなプロジェクト」では工期、工数、FP 規模の順に大きくなる。計画値に比べて FP 規模は増えても工数の増加はそこで抑え、工期は何とか計画通りに近いところで仕上げるという傾向が伺える。
- 改修・保守における予実比率は、「大きなプロジェクト」では見積り過多、「小さなプロジェクト」では見積り不足の傾向となる。
- 新規開発の FP 規模以外は、プロジェクトが大きくなるに従って予実比率が低下する。
- 工期の予実差の推定式からのばらつきは FP 規模や工数に比べて小さい。

計画値の策定にあたっては、予実差が大きくなるように過去の経験をフィードバックしているはずである。ここで述べた分析結果は、フィードバックが働いていても、なおかつこのような傾向が見られることを示しているとも言える。

参考文献

- [IPA2010] IPA/SEC 監修：ソフトウェア開発データ白書 2010-2011, 2010
- [古山 2011] 古山恒夫：ソフトウェアプロジェクトデータの量的変数に関する分析の指針と分析事例, SEC journal, Vol. 7, No. 3, pp. 105-111, 2011
- [古山 2012] 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における層別生産性とその信頼区間, SEC journal, Vol. 8, No.1, pp. 17-24, 2012