

規模・工期・要員数・工数の関係の定量的導出



柿元 健†



門田 暁人††



角田 雅照††



松本 健一††



菊地 奈穂美††

ソフトウェア開発工数の見積において、工数は要員数（人）と工期（月）の積で表現されるが、現実には人と月は可換とはいえない。また、適正工期は開発規模によって決定され、規模を一定とすると工期、要員数はトレードオフとなる関係である。本稿では、IPA/SEC 収集のプロジェクトデータセットに基づいて、工数、要員数、工期、開発規模の関係式を導出する。導出された関係式より、工期と要員数は1：1の関係ではなく、工期を半分にした場合、（開発規模が一定であっても）約2.7倍の要員数が必要となるケースがあること等がわかった。

Deriving Quantitative Relationship among Project Size, Delivery, Team Size and Effort

Takeshi Kakimoto, Akihiro Monden, Masateru Sunoda, Ken-ichi Matsumoto and Nahomi Kikuchi

In software effort prediction, the effort is expressed as the product of team size (persons) and project length (months); however, a person and a month are not exchangeable actually. In addition, the project length is strongly influenced by the project size. Hence, there is a trade-off among length and team size when the project size is constant. In this paper, we derive quantitative relationship of such a trade-off among effort, project size, length and team size, using a project dataset established by the Software Engineering Center (SEC), Information-technology Promotion Agency, Japan. The derived relationship quantitatively revealed that the person and the month are not exchangeable, e.g. if the project length is shortened to 50%, the team size increases up to 270%.

1 はじめに

ソフトウェア開発プロジェクトにおいて、スケジュール管理や資源の配置を適切に行うためには開発工数の見積が重要である[BOEHM1981]。また、見積工数に基づいた、要員数、及び、工期の決定が必要である。しかし、その決定は必ずしも容易でない。

一般に、「工数 = 人月（もしくは、人時、人日等）」として扱われ、工数は、人（要員数）と月（工期）の積で表わされる。このことから、例えば、20人×1カ月の開

発と10人×2カ月の開発は同じ工数として扱われる。しかし、経験的には人と月は可換とはいえない[BROOKS1975]。仮に、開発期間を半分に縮めると1人あたりの生産性が下がり、結果として全体の工数が増大し、要員数を2倍にしたとしても足りない恐れがある。また、適正工期と工数の間には概ね3乗根の関係がある[BOEHM1981][JUAS2007]等、工数、要員数、工期の関係は複雑である。また、これらの関係は開発規模の影響も受ける[BOEHM1981]。

本稿では、IPA/SECによって収集された、複数企業で実施されたソフトウェア開発プロジェクトのデータに基

† 大阪大学大学院情報科学研究科, Osaka University

†† 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科, NAIST

††† 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, IPA/SEC

づき、工数、要員数と、工期、開発規模の関係式を導出し、これらのプロジェクト特性間の関係を定量的に明らかにする。得られた関係式は、エンタープライズ系ソフトウェア開発における、工数、要員数、工期を決定する際の参考になると期待される。また、ソフトウェアベンダとユーザの意識合わせの際の参考にもなると考える。

従来研究として、COCOMO [BOEHM1981]やCOCOMO II [BOEHM2000]のように工期と工数や、工数と規模といった2種類のプロジェクト特性間の関係や、生産性 [TSUNODA2006][FURUYAMA2007]や工期の厳しさ [MONDEN2007]といった派生値を用いた複数のプロジェクト特性間の関係についての分析が行われてきた。これらの結果から、例えば、生産性と要員数とは強い関係があり、開発要員が多いプロジェクトでは生産性が低いこと等が示されている。ただし、生産性と要員数、工数等との間のトレードオフの関係については定量的に明らかにされていない。

以降、2節では、関係式導出に用いたデータについて説明し、3節では、関係式の導出方法について述べる。4節で、導出した関係式について記述し、5節では導出した関係式から得られる変数間の関係について述べる。最後に6節で本稿のまとめを述べる。

2 利用データ

2.1 概要

本稿では、関係式の導出に企業横断的データであるSEC収集のプロジェクトデータセットを用いる。プロジェクトの条件を整えるために、SECによって2006年度に収集されたソフトウェアプロジェクト1,419件から、SEC発行のソフトウェアデータ白書2006[SEC2006]において推奨されている条件に従って抽出した。

抽出条件を以下に示す。

- ・基本設計、詳細設計、製造、結合テスト、(ベンダによる)総合テストがすべて実施されている
- ・開発工期が欠損していない、かつゼロでない
- ・新規開発のプロジェクトである
- ・未調整FP(ファンクションポイント)が欠損していない、かつゼロでない
- ・FPの計測手法がIFPUG, SPR, NESMAのいずれかである

この抽出条件によって171件のプロジェクトが抽出された。

分析に利用するプロジェクト件数を確保するため、IFPUG, SPR, NESMAの各FP計測手法を用いているプロジェクトを採用した。文献[NISHIYAMA2006][SEC2006]に説明があるように、SPR法及びNESMA概算法はソフトウェアモデルがIFPUG法と同じであり、IFPUG法の簡略化された計測手法と考えられる。従って、これらのFP計測手法によって計測されたFPを同じ規模として扱うことは問題はないと考える。

2.2 プロジェクト特性の定義

関係式を導出するプロジェクト特性(開発規模、工期、工数、要員数)は、それぞれ次のように定義した。

- ・開発規模：未調整のFP
- ・工期：プロジェクト全体の工期(月)
- ・工数：基本設計、詳細設計、製造、結合テスト、総合テストの工程における工数の合計(人時)
- ・要員数：工数÷工期

SEC収集のデータセットには、プロジェクト特性として平均要員数が含まれているが、データ欠損が非常に多く、分析に不適なため、工数と工期から算出した値を要員数として採用する。

3 分析方法

3.1 関係式の導出

本稿では、開発規模、工期、要員数の関係式のみを導出する。開発規模、工期、工数の関係式は、 $工数 = 要員数 \times 工期$ の関係を用いて要員数の関係式を変換することで導出する。

複数の変数間の関係を導出するための方法として多変量解析がある。多変量解析において、変数選択を行わず、全変数を用いて多変量解析モデルを構築することで、複数変数間の関係を導出することが可能である。また、多変量解析では、目的変数の設定が必要な手法もあるが、変数間の関係の導出では目的変数は明らかではない。本稿で分析対象とする開発規模、工期、要員数、工期の各メトリクス間には因果関係があるため、どの変数も目的

変数となり得る．そこで，本稿では，全変数を目的変数としてそれぞれ関係式を導出する．

本稿では，多変量解析の手法のうち，一般的に用いられる重回帰分析，及び，ソフトウェア開発データを用いた見積の一手法である対数重回帰分析を関係式導出手法として採用する．従って，変数選択を行わない重回帰分析，及び，対数重回帰分析において，3変数をそれぞれ目的変数とした6通りの関係式を導出する．導出された6個の関係式のうち，最も当てはまりの良い（重回帰分析の決定係数が最も高い）関係式をその3変数の関係式として採用する．

3.2 関係式の変換

開発規模，工期，要員数のうち，プロジェクトにおいて調整が最も容易な変数は要員数である．よって，3.1節で採用された関係式を，要員数を求める関係式への式変換を行う．

また，開発規模，工期，工数の関係式を得るために，要員数を求める関係式を， $\text{工数} = \text{工期} \times \text{要員数}$ の関係をを用いて工数を求める関係式へと変換する．

3.3 変数間の関係の分析

3.2節で変換した関係式を用いて，開発規模，工期の変化に伴う要員数，もしくは，工数の変化から，開発規模，工期，要員数，工数の関係を明らかにする．

4 関係式導出

4.1 関係式導出方法の決定結果

開発規模，工期，要員数をそれぞれ目的変数とした重回帰分析，及び，対数重回帰分析の6個の関係式とその決定係数の値を表1に示す．表中の回帰式の記号は， F は開発規模， D は開発期間， M は要員数を示す．表のように，規模を目的変数とした対数重回帰分析により導出した関係式において決定係数が0.798と最も大きくなった．従って，規模を目的変数とした対数重回帰分析を関係式導出方法として決定した．そして，規模を目的とした対数重回帰分析の回帰式を関係式として採用した．

4.2 関係式の変換結果

4.1節で採用された関係式を要員数を求める式へと変換する．

$$\log(F) = 0.851 \log(D) + 0.591 \log(M) + 1.61$$
を要員数 M を求める式へ変換すると

$$M = 0.002 \times F^{1.692} \times D^{-1.440} \quad (1)$$

となる．

また， $\text{工数} = \text{工期} \times \text{要員数}$ の関係をを用いて，式(1)を工数(E)を求める式へと変換すると

$$E = 0.002 \times F^{1.692} \times D^{-0.440} \quad (2)$$

となる．

開発規模，工期，工数の関係を表したモデルとしてPutnamモデル[PUTNAM2003]がある．Putnamモデルを式

表1 導出された回帰式

手法	目的変数	決定係数 (R^2)	回帰式 (F : 規模 D : 工期 M : 要員数)
重回帰分析	規模: F	0.566	$F = 133D + 71M - 740$
対数重回帰分析		0.798	$\log(F) = 0.851 \log(D) + 0.591 \log(M) + 1.61$
重回帰分析	工期: D	0.308	$D = 0.02F - 0.55M + 7.97$
対数重回帰分析		0.573	$\log(D) = 0.577 \log(F) - 0.224 \log(M) - 0.558$
重回帰分析	要員数: M	0.429	$M = 0.005F - 0.294D + 7.312$
対数重回帰分析		0.652	$\log(M) = 0.990 \log(F) - 0.664 \log(D) - 1.529$

(2)と同様の形で表わすと

$$E=c \times L^3 \times D^{-4} \quad (3)$$

となる。ここで、 L は開発規模 (SLOC), c は生産性に依存した係数である。導出式 (式 (2)) とPutnamモデル (式 (3)) を比較すると、指数の正負は一致しているものの、その値は異なっている。

5 プロジェクト変数間の関係

5.1 開発規模, 工期, 要員数の関係

4.2節で得られた要員数を求める関係式(1)を用いて、開発規模, 工期を与えた時の要員数を表2に示す。表2より、規模 (FP) =1,000の場合、工期10ヵ月なら8.65人で開発できるが、短納期を目的として工期を半分の5ヶ月にすると23.47人必要 (すなわち約2.7倍の要員数が必要) といったことが読み取れる。

表2 開発規模と工期を与えたときの要員数

		工期 (月数)				
		5	10	15	20	25
規模 (FP)	500	7.26	2.68	1.49	0.99	0.71
	1000	23.47	8.65	4.82	3.19	2.31
	1500	46.61	17.18	9.58	6.33	4.59
	2000	75.83	27.95	15.59	10.30	7.47
	2500	110.62	40.77	22.74	15.03	10.90
	3000	150.59	55.50	30.96	20.46	14.83

また、表2の一部を表したグラフを図1に示す。グラフの横軸は工期、縦軸は要員数を示し、規模 (FP) ごとの折線グラフを示している。図1より、開発規模を一定とした場合には、工期を短くすると要員数が増加し、要員数を減らすと工期が長くなり、工期と要員数がトレードオフの関係にあることがわかる。

これらの結果より、一般に、定義としては「工数 = 人月」ではあるが、人 (要員数) と月 (工期) が1:1の可換ではないという経験則が定量的に示された。

5.2 開発規模, 工期, 工数の関係

4.2節の式変換で得られた工数を求めるモデル式 (2) を用いて、開発規模, 工期を与えた時の工数を表3に示す。表3より、規模 (FP) =1,000の場合、工期10ヵ月なら86.5人月で開発できるが、短納期を目的として工期5ヵ月にすると117.4人月と約1.4倍の工数が必要といったことが読み取れる。

表3 開発規模と工期を与えたときの工数

		工期 (月数)				
		5	10	15	20	25
規模 (FP)	500	36.3	26.8	22.4	19.7	17.9
	1000	117.4	86.5	72.4	63.8	57.8
	1500	233.0	171.8	143.7	126.6	114.8
	2000	379.2	279.5	233.8	206.0	186.8
	2500	553.1	407.7	341.1	300.5	272.4
	3000	753.0	555.0	464.3	409.1	370.9

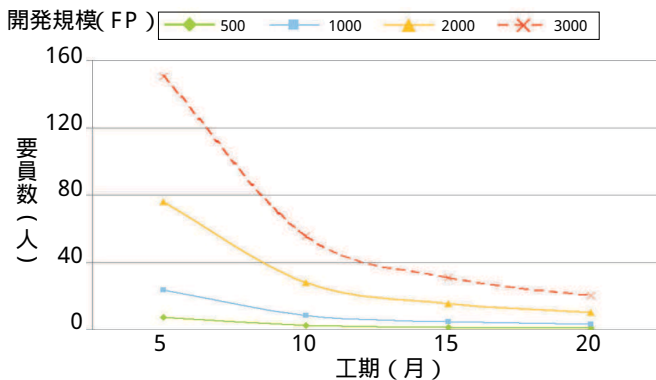


図1 開発規模ごとの工期と要員数の関係

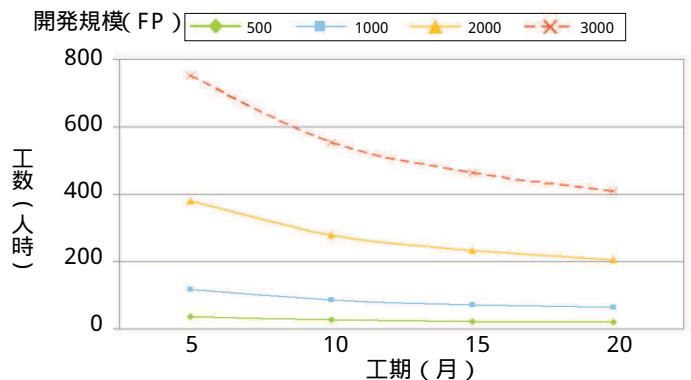


図2 開発規模ごとの工期と工数の関係

また、表3の一部を表したグラフを図2に示す。グラフの横軸は工期、縦軸は要員数を示し、規模（FP）ごとの折線グラフを示している。図2より、開発規模を一定とした場合には、工期を短くすると工数が増加し、工数を減らすと工期が長くなり、工期と工数がトレードオフの関係にあることがわかる。また、工期を一定としたときの開発規模と工数、工数を一定としたときの開発規模と工期についてもトレードオフの関係となっていることがわかる。

5.3 考察

導出した関係式の当てはまり度合いを調べるために、図1及び図2において各開発規模(FP)のグラフに対して、FPの値が± 20%以内のプロジェクトの工期と要員数、もしくは工数の実績値をプロットした。それぞれの結果を図3、図4に示す。また、FPの値が± 20%以内のプロジェクトのモデルと実測値の誤差の平均値、標準偏差、変動係数、最小値、最大値を表4及び表5に示す。

図3、図4及び、表4、表5から、導出された関係式で

得られる値は、実プロジェクトの値と大きく異なっていないといえる。散布図や、絶対的な指標で比較すると開発規模、工期、要員数の関係式が工数の関係式よりもあてはまりが良く、また、開発規模が小さい方が大きい場合よりもあてはまりが良く見える。しかし、値域の差を考慮し、相対的な指標である変動係数で比較すると両者に大きな差はないことがわかる。

開発規模、工期、要員数の関係から、開発規模を維持しつつ短納期を目指すには、要員数を増やせば良いことがわかる。しかし、開発規模、工期、工数の関係から、工期を短縮し、それに伴って必要な要員数を増加させた場合には、工数（開発コスト）が増大することがわかる。つまり、工期と工数はトレードオフの関係であるため、短納期の実現には開発コスト増加が伴うことがわかる。一方、開発規模を維持しつつ開発コストを削減するには、工期を長くし要員数を減らせば良いことがわかる。しかし、実際問題として、開発規模、工期、要員数、工数は、プロジェクトの内容や環境等によって上限下限が決められており、納期短縮のために工数をいくらでも増加させ

表4 モデルと実測値（± 20%）の誤差（要員数）

規模	絶対誤差 平均値	標準 偏差	変動 係数	最小値	最大値
500	4.17	4.74	1.14	0.085	19.859
1000	4.55	5.80	1.27	0.004	24.867
2000	10.99	13.40	1.22	0.277	39.052
3000	16.50	23.05	1.40	0.461	54.867

表5 モデルと実測値（± 20%）の誤差（工数）

規模	絶対誤差 平均値	標準 偏差	変動 係数	最小値	最大値
500	31.00	33.13	1.07	0.940	174.824
1000	39.53	38.46	0.97	0.052	126.822
2000	119.82	102.53	0.86	3.346	350.165
3000	198.00	193.72	0.97	11.770	394.146

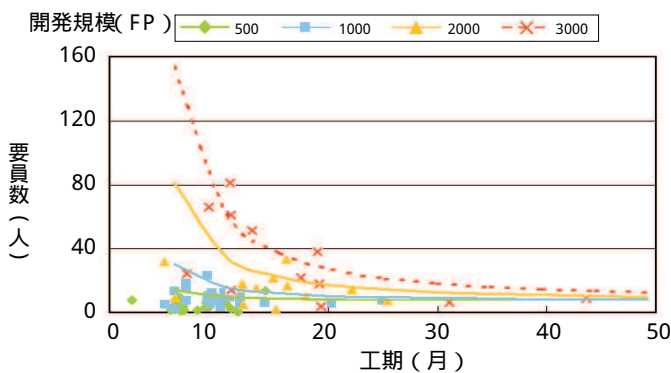


図3 モデルと実測値（± 20%）の関係（要員数）

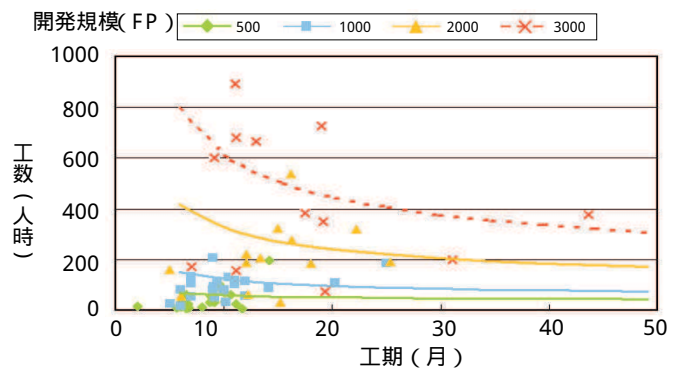


図4 モデルと実測値（± 20%）の関係（工数）

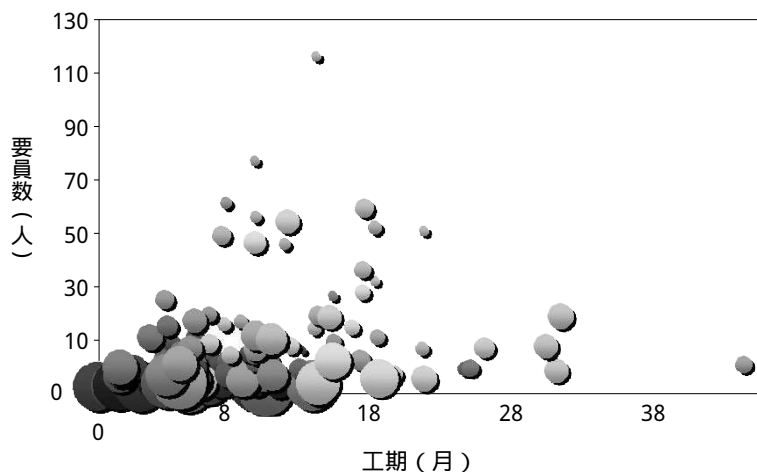


図5 生産性と工期，要員数の関係

る，あるいは，開発コスト削減のために工期をいくらでも長くするといったことは現実的ではない．現実には，プロジェクトの開発規模，工期，要員数，工数について，ビジネス上の制約に沿いそれぞれの許容範囲内において，関係式を満たすように決定することとなる．

ソフトウェア開発では生産性も重要な要素である．生産性 (P) を開発規模 (F) を全体工数 (E) で割った値と定義すると，本稿で採用した関係式は式 (3) のように変換される．

$$P=40.738 \times D^{-0.149} \times M^{-0.409} \quad (3)$$

また，生産性と工期，要員数の関係を図5に示す．図5の横軸は工期，縦軸は要員数，バブルの大きさは生産性を示す．式 (3)，及び，図5より，工期が短い，もしくは，要員数が少ないほど高い生産性が得られ，工期と生産性，及び，要員数と生産性もトレードオフの関係であることがわかる．とくに，要員数の方が工期よりも生産性に大きな影響を与えている．また，短納期を目的として工期を短縮し要員数を増加させた場合，生産性が低下することになり，短納期の実現による開発コストの増加は，生産性の低下によるものだといえる．

6 まとめ

本稿では，ソフトウェア開発プロジェクトにおける開発規模，工期，要員数，工数の関係の実データからのモデル化について検討し，モデル式が示す各変数の関係を表した．規模を一定とすると工期と要員数はトレードオ

フの関係となり (図1，図2)，一般に，「工数 = 人月」ではあるが，人 (要員数) と月 (工期) が1:1の可換とならないことを定量的に示した．

ただし，本稿では，データ件数の少なさから，業種別，言語別，アーキテクチャ別等のモデル式の導出はできなかった．そのため，データ件数を増やして，層別されたモデル式を導出することが今後の課題となる．

謝辞

本研究の一部は，文部科学省「次世代IT基盤構築のための研究開発」，および，経済産業省の支援による「ソフトウェア工学の実践強化に関する調査研究」の一環として行われた．

参考文献

- [BOEHM1981] B.W. Boehm : Software engineering economics, Prentice Hall, 1981
- [BOEHM2000] B.W. Boehm, C. Abts, A. W. Brown, S. Chulani, B. Clark, E. Horowitz, R. Madachy, D. Reifer, and B. Steece : Software Cost Estimation with Cocomo II, Prentice Hall, 2000
- [BROOKS1975] F.P. Brooks Jr : The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering, Addison-Wesley 1975
- [FURUYAMA2007] 古山恒夫, 菊地奈穂美, 安田守, 鶴保征城 : ソフトウェア開発プロジェクトの遂行に影響を与える要因の分析, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.8, pp.2608-2619, 2007
- [JUAS2007] 社団法人日本情報システム・ユーザー協会編, JUASソフトウェアメトリックス調査2007, JUAS出版, 2007
- [MONDEN2007] 門田暁人, 馬嶋宏, 増田浩, 羽田野尚登, 磯野聖, 内海昭, 菊地奈穂美, 服部昇, 細谷和伸, 森和美 : 工期の厳しさに関連する要因の分析, SEC journal, No.10, pp.48-53, 2007
- [NISHIYAMA2006] 西山茂 : ソフトウェア機能規模測定法の最新動向, SEC journal, No.5, pp.35-43, 2006
- [PUTNAM2003] L.H. Putnam and W. Myers, Five Core Metrics: The Intelligence Behind Successful Software Management, Dorset House Publishing Company, 2003.
- [SEC2006] IPA/SEC : ソフトウェア開発データ白書2006 ~IT企業1400プロジェクトの定量データで示す開発の実態~, 日経BP社, 2006
- [TSUNODA2006] M. Tsunoda, A. Monden, H. Yadohisa, N. Kikuchi, and K. Matsumoto : Productivity Analysis of Japanese Enterprise Software Development Projects, Proc. 3rd International Workshop on Mining Software Repositories, pp.14-17, 2006