

自主研究

ソフトウェア開発における適正工期に関する分析

ソフトウェア開発における適正工期に関する分析

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 戸田 航史 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 押野 智樹 高橋 昭彦

1. はじめに

ソフトウェア開発におけるプロジェクト管理の主要な観点は**Quality**：品質、**Cost**：費用（工数）、**Delivery**：納期（工期）の3つと言われている。プロジェクト計画では、これら3つの観点（以下では、QCDと略す）それぞれについて、管理のための目標値や基準値が設定されることになる。

ただし、QCDはトレードオフの関係にある。例えば、一般に、品質を高めようとする、工数はより多く必要となり、工期はより長くなる。また、工数を抑えるために、品質が犠牲になってしまうこともあり得る。さらに、工期を短くしようとする、品質が犠牲になってしまったり、工数がより多く必要となってしまうこともあり得る。プロジェクト計画において、QCD間の関係を勘案せず、それぞれに目標値を設定すると、いずれかの目標値が非現実的、あるいは、実現困難なものとなり、プロジェクトは計画通りには進行せず、失敗となる可能性が高くなる。

開発プロジェクトを成功に導くためには、QCDそれぞれに対するユーザの要求を満足しつつ、実現可能なQCD（の目標値）の組合せを見つけることが重要となってくる。もちろん、実現可能なQCDの組合せが見つからない場合は、QCDいずれかについて、ベンダの目標値またはユーザの要求よりも後退させる必要がある。

本稿では、ソフトウェア開発に関する調査によって収集された多数のプロジェクトデータ「ソフトウェア開発データリポジトリ（文末参照）」を分析することで、プロジェクト特性値間の関

係について、QCDを中心に明らかにし、ソフトウェア開発において実現可能なQCD（の目標値）の組合せを見つけるための定量的な知見を提供する。特に、プロジェクトの成否に基づいて、適正な工期の範囲（限界）について議論するとともに、Javaによる開発など、特定の条件を満たすプロジェクトにおけるQCDの関係や適正工期に与える影響を見ていく。

2. 利用データ

分析に用いるのは、財団法人経済調査会が平成20年度～21年度に実施した「ソフトウェア開発に関する調査」で収集したプロジェクトデータ（ソフトウェア開発データリポジトリ）である。同調査は、ソフトウェア開発における生産性、工数、費用に及ぼす要因の特定などを通じて、ソフトウェア開発の実態を明らかにし、その成果を公表することを目的として、平成10年度からほぼ毎年実施している。同調査では、分析用データとして平成13年度から平成21年度までの9年度分のべ1,693プロジェクトのデータを蓄積しているが、本稿で用いるのは、平成20年度～21年度の同調査で収集されたデータのうち、次の条件を満足する140プロジェクトのデータである。

- ・財団法人経済調査会が共通フレーム2007と対応付けし、定義した開発工程区分のうち開発6工程（基本設計（A）、基本設計（B）、詳細設計、プログラム設計製造、結合テスト、総合テスト（ベンダ確認））すべてが実施されている。

・「調査対象となるソフトウェア開発実績事例の評価」としてプロジェクトの成否が記されている。

分析に用いた主なプロジェクト特性値は、ファンクションポイント (FP)、(出荷後3ヶ月)の発生バグ数、発生バグ密度 (発生バグ数/1,000FP)、工数 (人月)、月あたり開発工数 (人月/月)、工期 (月)、FP生産性 (FP/人月)の

計7個である。これら特性値の定義を表1に、基本統計量を表2にそれぞれ示す。

特性値によって基本統計量の件数が異なるのは、プロジェクトによって、回答が得られている調査項目が異なるためである。

本稿では工期Dを中心に以降の議論を進めることとし、分析における目的変数を工期Dとした。また、説明変数となるQは発生バグ密度、Cは工数、SはFP規模である。

表1 分析に用いたプロジェクト特性値

プロジェクト特性値	単 位	定 義
ファンクションポイント	FP	未調整ファンクションポイント
発生バグ数	件	出荷後3ヶ月までの発生バグ件数 ただし、出荷後のバグ把握期間が3ヶ月と異なる場合は、次式で換算した件数とした 出荷後3ヶ月までの発生バグ件数 = 出荷後発生バグ数 × (3 / バグ把握月数)
発生バグ密度	件 / 1,000FP	出荷後3ヶ月までの1,000FPあたりの発生バグ件数 発生バグ密度 = 出荷後3ヶ月までの発生バグ件数 / 実績 FP 規模 × 1,000
工数	人月	ソフトウェア開発の実績工数
月あたり開発工数	人月 / 月	月平均の開発工数を表す 月あたり開発工数 = 実績工数 / 実績工期
工期	月	ソフトウェア開発の実績工期
FP生産性	FP / 人月	1人月あたりのFP規模を表す FP生産性 = 実績FP規模 / 実績工数

表2 プロジェクト特性値の基本統計量

プロジェクト特性値区分		成否区分	件数	平均値	標準偏差	最小値	第一四分位	中央値	第三四分位	最大値
規模 (Size)	FP	全体	69	2,687	4,499	45	432	1,045	2,548	26,572
		成功	51	1,988	3,207	45	408	1,042	2,273	20,636
		失敗	10	6,132	7,393	249	1,813	3,131	7,714	26,572
品質 (Quality)	発生バグ数 (件: 出荷後3ヶ月まで)	全体	106	21.8	52.6	0	1	5	20	371
		成功	76	9.9	17.6	0	0.4	3	8	74
		失敗	21	62.6	95.9	2	7.5	30	45	371
	発生バグ密度 (件 / 1000FP)	全体	49	14.4	25.3	0	1.6	3.7	13.1	105
		成功	38	12.3	23.1	0	1.3	4.1	12.6	105
		失敗	7	31.4	34.9	0.2	29	11.1	51.4	100
費用 (Cost)	工数 (人月)	全体	136	203	428	0.5	21	71	175	3,723
		成功	96	149	242	0.5	23	70	168	1,870
		失敗	25	323	444	2.5	34	136	402	1,954
	月あたり開発工数 (人月 / 月)	全体	136	13.8	25.1	0.3	3	7	15.9	248
		成功	96	10.7	12.7	0.3	2.9	6.9	14	71
		失敗	25	20	21	0.4	5.6	12.4	22.2	81
納期 (Delivery)	工期 (月)	全体	137	11	6.1	0.5	7	9	15	30
		成功	97	11	6.1	0.5	7	9	14	30
		失敗	25	12	5.7	3	7	12	15	24
その他	FP生産性 (FP / 人月)	全体	69	22.7	39.5	3.8	8.4	11.6	21.6	301
		成功	51	24.5	44.1	3.8	9	11.6	21.6	301
		失敗	10	10	3.7	4.2	6.7	11.2	13.4	14

注) 成功、失敗のいずれにも属さないプロジェクトがあるため、成功と失敗の合計は全体に一致しない。

3. プロジェクトの成否に基づく適正工期

ここでは、成功プロジェクトと失敗プロジェクトの比較を通じて、適正工期についての議論を試みる。具体的には、「成功したプロジェクトの工期は適正であり、失敗したプロジェクトの工期は適正とは言えなかった」と仮定し、規模 (S) や工数 (C) との関係において、適正な工期の範囲 (限界) を求めてみる。

プロジェクトの成否の基準には、調査項目「調査対象となるソフトウェア開発実績事例の評価」を用いることとした。同項目は、対象プロジェクトそれぞれについて、その成否が次の5段階のいずれかで回答するものである。

- 1 成功事例であった
- 2 どちらかと言えば成功事例であった
- 3 どちらとも言えない事例であった
- 4 どちらかと言えば失敗事例であった
- 5 失敗事例であった

上記5段階評価において「1もしくは2とされたプロジェクト」を成功プロジェクト、「4もしくは5とされたプロジェクト」を失敗プロジェクトとした。

3-1 規模との関係に基づく適正工期

まず、成功プロジェクトと失敗プロジェクトにおける工期 (D) そのものの違いを見てみる。図1は、成功プロジェクト、失敗プロジェクト、それぞれにおける規模 (S) と工期 (D) の関係を示す散布図、及び、回帰曲線である。

ここで規模はFPである。それぞれの回帰曲線は次の式で表される。

成功プロジェクト : 工期 $D = 0.60 \times S^{0.41}$

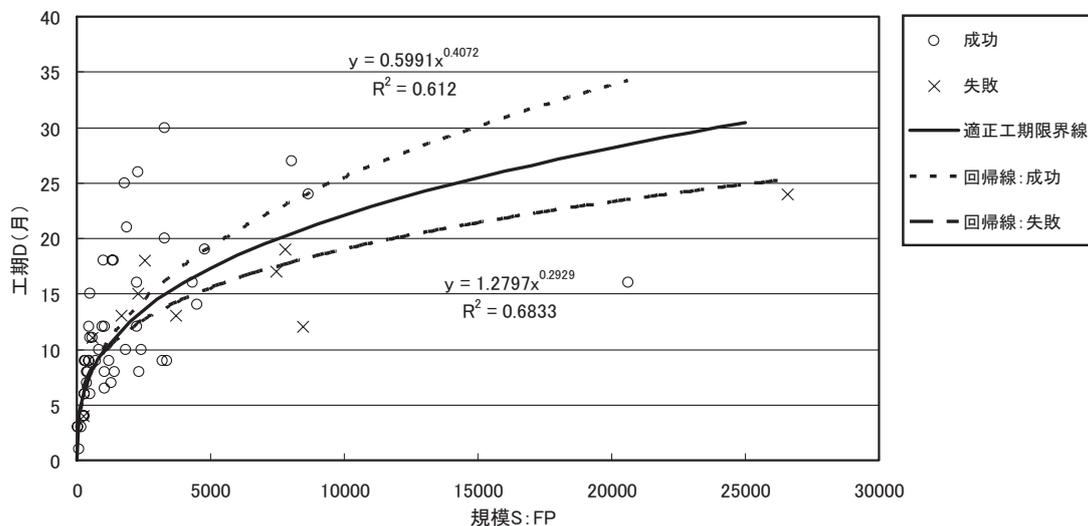
データ数 51, 決定係数 $R^2 = 0.612$

失敗プロジェクト : 工期 $D = 1.28 \times S^{0.29}$

データ数 10, 決定係数 $R^2 = 0.683$

当然のことではあるが、成功プロジェクトでも失敗プロジェクトでも、規模が大きくなれば工期は長くなる傾向にある。ただし、成功プロジェクトでは、工期は規模の0.41乗に比例しているが、失敗プロジェクトでは0.29乗に比例している。失敗プロジェクトの方が、規模が変化しても、工期はあまり変化しないことになる。図1を見ると、規模1,000FP付近までは、成功プロジェクトと失敗プロジェクトで工期にほとんど差はないが、その後、規模が大きくなるに従って両者の工期の差は大きくなっていくのが分かる。回

図1 規模 (FP) と工期の関係



帰式より、規模5,000FPでは、成功プロジェクトの工期は19.7ヶ月、失敗プロジェクトの工期は15.1ヶ月と、およそ1.30倍に、規模20,000FPでは、成功プロジェクトは34.8ヶ月、失敗プロジェクトは22.6ヶ月と、およそ1.54倍の差となる。

先に述べたとおり「成功したプロジェクトの工期は適正であり、失敗したプロジェクトの工期は適正とは言えなかった」と仮定すると、単純に、成否プロジェクトに対する二つの回帰曲線から鉛直方向に等距離に位置する曲線を描くことで、それを「開発規模との関係からみた適正工期の限界線」と考えることができる。対数軸では、二つの回帰式によって求めた工期Dの(相加)平均となるが、線形軸では相乗平均となる。図1の場合の限界線の式は、

$$\begin{aligned} \text{適正工期限界} &= (0.60 \times 1.28)^{1/2} \times S^{(0.41+0.29)/2} \\ &= 0.88 \times S^{0.35} \end{aligned}$$

となり、例えば、規模5,000FPでの適正工期限界は17.3ヶ月、規模20,000FPでは28.1ヶ月となる。これら限界よりも工期が短くなるようだとプロジェクトは失敗する可能性が高くなり、適正な工期とは言えなくなる。

3-2 工数との関係に基づく適正工期

次に、成功プロジェクトと失敗プロジェクトにおけるQCDの関係の違いを見る。ここでは、誌面の都合上、関係性が見出された工数(C)と工期(D)の関係についてのみ述べる。

図2に工数と工期の関係を示す。なお、工数は月あたり開発工数と工期の積で表される。工数が工期によって決まってしまうのであれば、工数と工期の間に強い関係性が見られるのは当然のこととなる。そこで、念のため、月あたり開発工数と工期との関係を図3に示す。

図2, 3を比較すると、工数と工期の関係は、月あたり開発工数と工期の関係と大きな違いのないことがわかる。そこで、以降では、「2. 利用データ」の最後でも述べたとおり、「Cは工数」として分析を進めることとする。

図2に示した二つの回帰曲線はそれぞれ次の式で表される。

成功プロジェクト：工期D = 2.38 × C^{0.33}

データ数 96, 決定係数R² = 0.642

失敗プロジェクト：工期D = 2.94 × C^{0.27}

データ数 25, 決定係数R² = 0.722

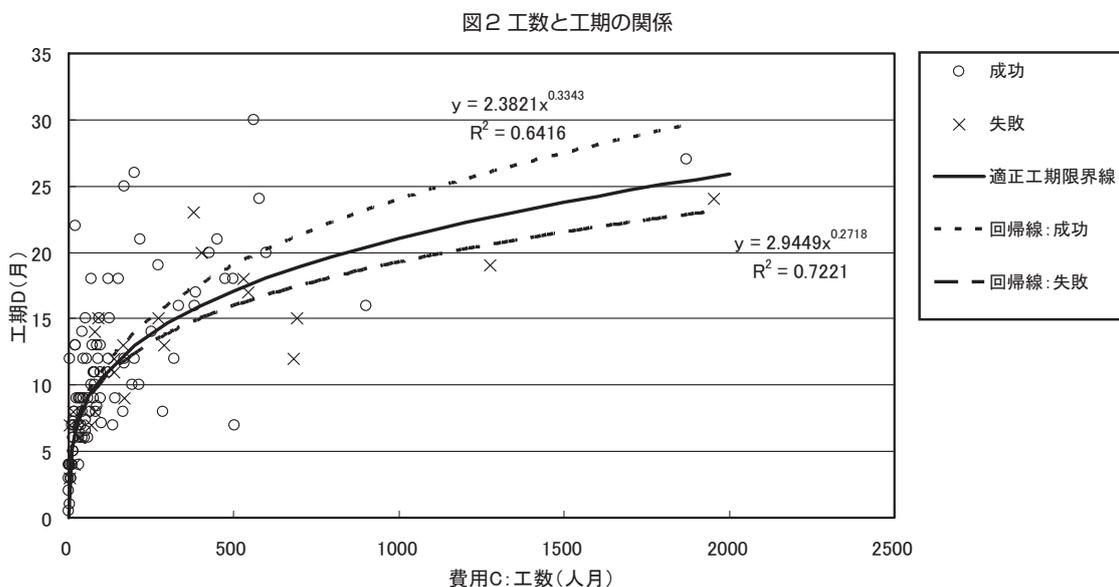
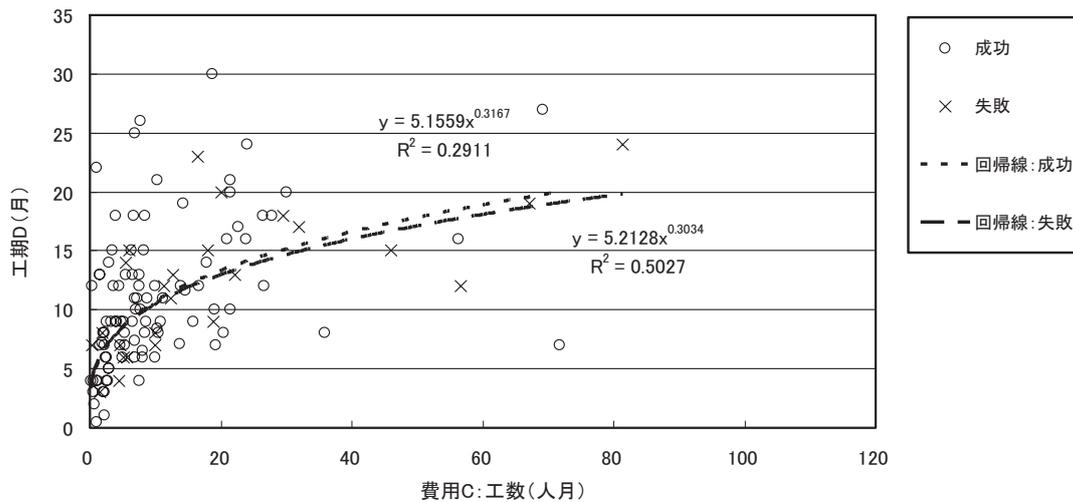


図3 月あたり開発工数と工期の関係



得られた回帰式を既存の見積りモデルと比較してみよう。比較対象は、B. Boehmによって1981年に提案され、最もよく知られている見積りモデルの一つであるCOCOMO (COConstructive COst Model) と、その改良版として2000年に提案されたCOCOMO IIである。COCOMOとCOCOMO IIにおける工数と工期の関係を表すモデル式は、それぞれ次のとおりである。なお、いずれのモデル式においても、プロジェクトの特性によって工数と工期の関係は変化するとし、係数に幅を持たせている。

$$\text{COCOMO} : \text{工期} D = 2.5 \times C^{0.32 \sim 0.38}$$

$$\text{COCOMO II} : \text{工期} D = (3.67 \sim 5.25) \times C^{0.28 \sim 0.34}$$

得られた回帰式と比べてみると、成功プロジェクトの回帰式は、COCOMOのモデル式とほぼ同じであることがわかる。特に、指数部を比べてみると、成功プロジェクト回帰式では0.33であり、COCOMOモデル式の係数幅0.32～0.38の中では、最小値に近い値になっている。これは、COCOMOの定義によれば、開発上の制約条件が厳しく、仕様変更も頻発するようなプロジェクトということになる。また、COCOMO IIのモデル式と比べると、指数部の係数幅0.28～0.34の中では、最大値に近い値になっている。これは、COCOMO IIの定義に

よれば、開発者間のコミュニケーションやシステム統合のオーバーヘッドが非常に大きいプロジェクトということになる。

以上をまとめると、成功プロジェクトの回帰式は、COCOMO、COCOMO IIいずれのモデル式ともよく合致しているだけでなく、それらモデル式の定義によれば、成功プロジェクトは、実施が比較的困難なプロジェクトとの位置付けとなる。ただし、成功プロジェクト回帰式の乗数部は2.38であり、COCOMO IIの3.67～5.25に比べると半分程度となっている。COCOMO II提案時に比べて、工数の大小にかかわらず、工期は半分程度ということになる。

一方、失敗プロジェクトの回帰式は、指数部が0.27であり、COCOMO、COCOMO IIいずれと比べても小さく、工数が変化しても、工期はあまり変化しないことになる。図2を見ると、工数100人月付近までは、成功プロジェクトと失敗プロジェクトで工期にほとんど差はないが、その後、工数が大きくなるに従って両者の差は大きくなっていくのが分かる。回帰式より、工数500人月では、成功プロジェクトの工期は18.5ヶ月、失敗プロジェクトの工期は15.7ヶ月と、およそ1.18倍に、工数2,000人月では、成功プロジェクトは29.2ヶ月、失敗プロジェクトは22.9ヶ月と、およそ1.28倍の差となる。

先に述べたとおり「成功したプロジェクトの工期は適正であり、失敗したプロジェクトの工期は適正とは言えなかった」と仮定すれば、二つの回帰式によって求めた工期Dの相乗平均を「工数との関係からみた適正工期の限界線」と考えることができる。図3の場合の限界線の式は、

$$\begin{aligned} \text{適正工期限界} &= (2.38 \times 2.94)^{1/2} \times C^{(0.33+0.27)/2} \\ &= 2.65 \times C^{0.30} \end{aligned}$$

となり、例えば、工数500人月での適正工期限界は17.1ヶ月、工数2,000人月では25.9ヶ月となる。これら限界よりも工期が短いようだとプロジェクトは失敗する可能性が高くなり、適正な工期とは言えなくなる。

なお、以上は、「適正な工数が定まっているとして、それに対して適正な工期はどうか」という議論であるが、「工期が定まっているとして、それに対応する工数をどう計画するか」という議論も必要である。発注者の都合により納期(工期)が定まっているということはよくあり得ることである。その場合でも、まず、納期(工期)を考慮しない適正な計画工数から適正な工期を予測し、2つの工期(実際の工期と適正工期)の差分の大きさから判断し、計画工数を補正するなどプロジェクトのマネジメントに活用できると考えられる。

3-3 複数要素との関係に基づく適正工期

成功プロジェクトにおける複数要素 品質(Q)、工数(C)、および、規模(S)と工期(D)の関係は次のとおりである。

成功プロジェクト：

$$\begin{aligned} \text{工期 } D &= 1.27 \times C^{0.37} \times S^{0.07} \times Q^{0.05} \\ &\quad (C, S, Q > 0) \end{aligned}$$

データ数38：決定係数 $R^2 = 0.720$

これは、プロジェクト特性値間で行った対数重回帰分析の結果から得られた関係式である。失敗プロジェクトは、説明変数 工数(C)、規模(S)、品質(Q)全てが記されたデータ数が少なかったため、関係式を算出しなかった。規模(S)、工数(C)それぞれの単独要素に比べ決定係数 R^2 の値が高く、工期(D)の予測精度が高いことがわかる。

しかし上式は、バグが発生しない場合、すなわちQが0の場合には適用できないこと、また、Qを事前に予測することが困難であることから、説明変数Qを除いた2つの要素で上記同様に分析を行った結果は次のとおりである。

成功プロジェクト： 工期 $D = 1.52 \times C^{0.29} \times S^{0.10}$

データ数 51, 決定係数 $R^2 = 0.746$

失敗プロジェクト： 工期 $D = 2.66 \times C^{0.49} \times S^{0.16}$

データ数 10, 決定係数 $R^2 = 0.882$

この場合も、規模(S)、工数(C)それぞれの単独要素に比べ決定係数 R^2 の値が高く、さらに3要素の関係式と比べても工期(D)の予測精度が高いことがわかる。

先に述べたとおり「成功したプロジェクトの工期は適正であり、失敗したプロジェクトの工期は適正とは言えなかった」と仮定すれば、二つの回帰式によって求めた工期Dの相乗平均を「工数と規模、双方との関係からみた適正工期の限界線」と考えることができる。限界線の式は、

適正工期限界

$$\begin{aligned} &= (1.52 \times 2.66)^{1/2} \times C^{(0.29+0.49)/2} \times S^{(0.10+0.16)/2} \\ &= 2.01 \times C^{0.39} \times S^{-0.03} \end{aligned}$$

となる。

4. 特定層における適正工期

ここでは、成功プロジェクトをその特性値によって層別し、特定の層におけるQCDの関係

や適正工期に与える影響について見ていく。ただし、誌面の都合上、関係性が見出された事例についてのみ述べる。

4-1 規模による層別

一般に、開発するソフトウェアの規模が大きく異なればプロジェクトの様相も異なると言われる。「3-1 規模との関係に基づく適正工期」でみた、規模と工期の関係も、連続的なものとして捉えるのではなく、傾向が異なるいくつかの層（グループ）の集まりとして捉えるべきかもしれない。そこで、ここでは、成功プロジェクトを規模によって次の4つの層に分け、各層における工数 (C) と工期 (D) の関係を比較することにする。

- 第1層：400FP未満
- 第2層：400FP以上1,000FP未満
- 第3層：1,000FP以上3,000FP未満
- 第4層：3,000FP以上

図4は、成功プロジェクトのうち規模のデータが得られている51プロジェクトにおける工数と工期の関係を示す散布図、及び、回帰曲線である。工数を表すX軸のみ対数表示となつて

いる。各プロジェクトのデータを示す点は、層ごとに形が異なる。なお、回帰曲線は、特定の層に対するものではなく、当該51プロジェクト全体に対するものである。

図4を見ると、4つの層のデータはいずれも、工数の範囲 (X軸方向の分布範囲) がそれぞれ異なるものの、およそ2,000人月以下の範囲において、おおむね回帰曲線の周りに分布していることがわかる。このことから、工数がおおよそ2,000人月以下のプロジェクトにおいては、工数と工期の関係は、開発するソフトウェアの規模には大きく影響されない、と言える。そして、規模にかかわらず、「3-2 工数との関係に基づく適正工期」で求めた適正工期限界式を用いることができる、と言える。

4-2 Java による開発における傾向

新技術の導入によりプロジェクトの様相が変化していることに気づかず、従来の基準でQCDの関係を捉えていると、プロジェクト管理上の判断を誤る可能性が高くなる。そこで、ここでは、最近増える傾向にあるJavaによる開発と開発言語を問わない成功プロジェクト全体 (全言語による開発) とで、工数 (C) と工期 (D) の関係を比較することにする。

図4 工数と工期の関係 (規模層別)

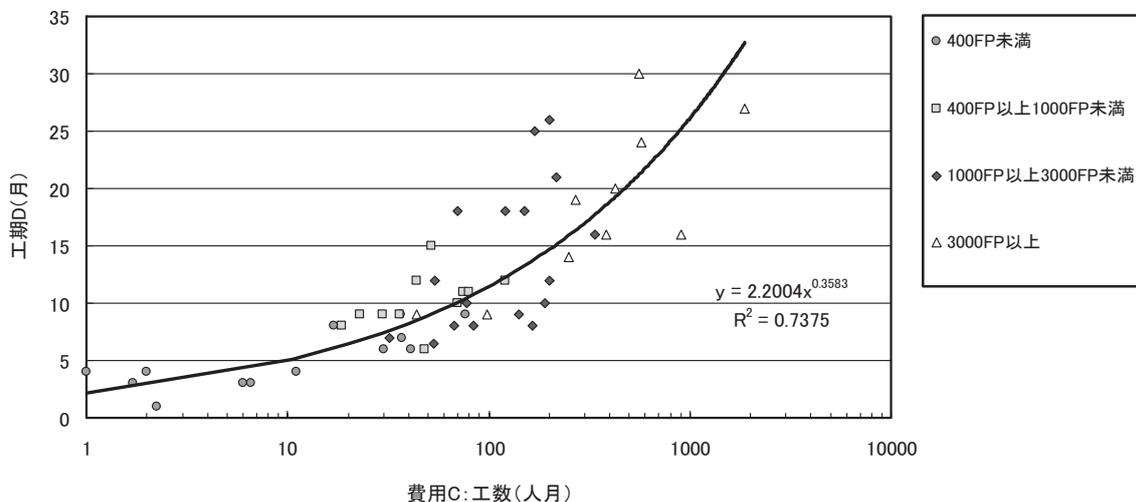


図5は、主開発言語がJavaである開発（成功プロジェクト）における、工数と工期の関係を示す散布図、及び、回帰曲線である。

主開発言語は、単一の開発言語または開発言語の比率が50%以上のものとした。比較のため、全言語による開発での工数と工期の関係を示す散布図と回帰曲線をあわせて示す。それぞれの回帰曲線は次の式で表される。

Javaによる成功プロジェクト：

$$\text{工期} : D = 1.64 \times C^{0.42}$$

データ数 26, 決定係数 $R^2 = 0.799$

全成功(全言語)プロジェクト：

$$\text{工期} D = 2.38 \times C^{0.33}$$

データ数 96, 決定係数 $R^2 = 0.642$

Javaによる開発では、全言語による開発に比べて、工数がおよそ100人月以上の場合において、工数が同じならば、より工期が長くなる傾向にあることが分かる。回帰式より、工数500人月では、Javaによる開発の工期は22.3ヶ月、全言語による開発の工期は18.5ヶ月と、およそ1.21倍に、工数2,000人月では、Javaによる開発は39.9ヶ月、全言語による開発は29.2ヶ月と、およそ1.35倍もの差となる。

工期と工数の間の関係に、これだけ大きな

差があるのであれば、Javaによる開発向けに、適正工期限界を改めて求める必要がある。ただし、新技術を対象とした分析にはよくあることであるが、Javaによる開発プロジェクトのデータが、成否プロジェクトともに十分に蓄積されるまでには、少々時間を要するかもしれない。そうした場合には、次善の策として、適正工期限界式をJavaによる開発向けに補正を加えて用いることが考えられる。例えば、Javaによる開発における工期Dの増加率は、ここで示した回帰式より、

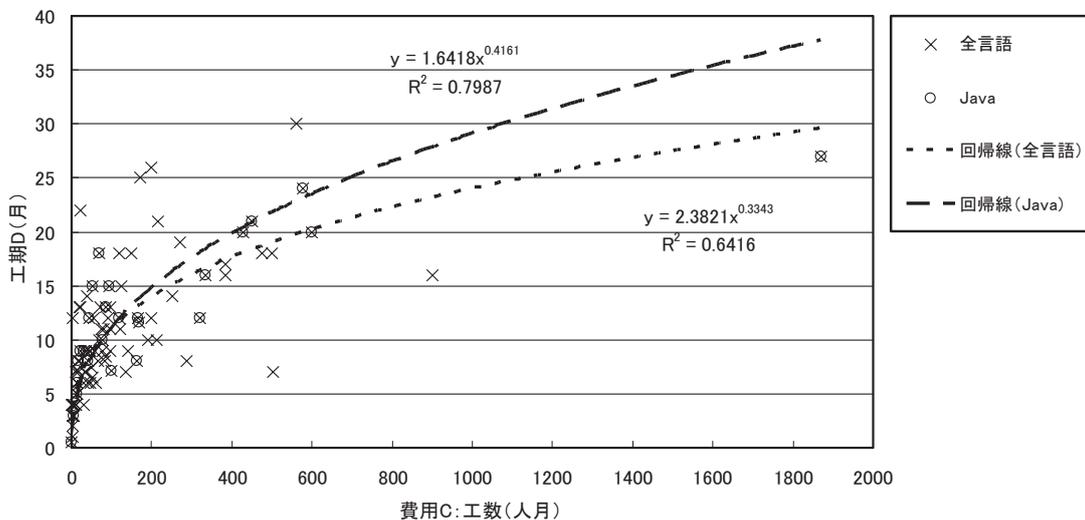
$$\begin{aligned} \Delta D_{\text{Java}} &= (1.64 \times C^{0.42}) / (2.38 \times C^{0.33}) \\ &= 0.69 \times C^{0.09} \end{aligned}$$

となる。単純に、適正工期限界も、これと同じ比率で変動すると仮定すると、「3-2 工数との関係に基づく適正工期」で求めた適正工期限界式と ΔD_{Java} の積をとることで、Javaによる開発向けの適正工期限界式を次のように求めることができる。

Javaによる開発向け適正工期限界

$$\begin{aligned} &= 2.66 \times C^{0.30} \times \Delta D_{\text{Java}} \\ &= 1.84 \times C^{0.39} \end{aligned}$$

図5 Javaによる開発における工数と工期の関係



5. まとめ

本稿では、財団法人経済調査会が平成20年度～21年度に実施した「ソフトウェア開発に関する調査」で収集されたプロジェクトデータ（ソフトウェア開発データリポジトリ）を分析することで、ソフトウェア開発において実現可能なQCD（品質、工数、工期の目標値）の組合せを見つけるための定量的な知見をいくつか示した。特に、プロジェクトの成否に基づいて、規模（S）と工期（D）、および工数（C）と工期（D）の関係において、適正工期限界を示すとともに、規模および開発言語によってデータを層別し、特定の層におけるQCDの関係や適正工期への影響を調べ、適正工期限界式の適用範囲や補正法について議論した。

なお本稿では、比較的単純な方法で適正工期限界式を算出した。直感的にわかりやすく、ファーストトライアルとしては十分と考えているが、適正工期かどうかの判定精度を向上し、適用範囲を拡げるためには、判別分析法などによる厳密な手法の導入が必要である。そのためにも引き続き、ソフトウェア開発データリポジトリにデータを蓄積し、同時に分析を進めていく予定である。

適正な工期の範囲（限界）が明らかになれば、ユーザの要求を満足しつつ、実現可能なQCD（の目標値）の組合せを見つけ、プロジェクト計画を策定することが容易になる。ただし、計画通りに進行するとは限らない、工期が適正な範囲を外れてしまうプロジェクトになる可能性もある。QCDそれぞれの適正範囲（限界）を明らかにする技術とともに、CDを把握し、必要があれば適正範囲内に留まるようコントロールする技術の向上が今後重要となる。

《 参考情報 》

「ソフトウェア開発データリポジトリ」

財団法人経済調査会が、毎年実施する「ソフトウェア開発に関する調査」で収集したプロジェクトデータのデータベース。平成13年度から平成21年度までの9年度分で、のべ1,693プロジェクトのデータを蓄積している。平成13年度から平成18年度までの6年度分については、蓄積データの収集・分析結果を冊子「ソフトウェア開発データリポジトリの分析」（234頁）として、平成22年7月に発行した。平成22年10月上旬には、同冊子のPDF版が財団法人経済調査会のWebサイト、

<http://www.zai-keicho.or.jp/>の「研究成果」で確認できる。