

ソフトウェアプロジェクト結果に対する開発体制の影響分析

角田雅照^{1,2} 松本健一¹ 大岩佐和子³ 押野智樹³

概要: ソフトウェア開発企業にとって、コストなどのソフトウェア開発プロジェクトの結果は非常に重要である。プロジェクトの結果に関する研究は以前から取り組まれているが、近年においても結果に問題が生じなくなるとはいえない。本研究ではプロジェクト体制と結果との関係の正確な理解を目的とし、プロジェクト結果に影響する要因を明らかにする。プロジェクト結果としてコスト（生産性、技術者単価）と納期（開発速度、開発期間予実比）に着目する。影響要因として、プロジェクトの開発体制（開発要員数、外部委託、契約形態）に着目する。405 組織から収集されたデータ 2,299 件から適切なプロジェクトを抽出後、主に重回帰分析を用いてコストと納期に影響する要因を分析した。その結果、外部委託は生産性に影響している一方で技術者単価には影響していないことがわかった。また、開発速度は要員数と外部委託の両方が関係していることがわかった。企業横断的に収集されたデータを用いて分析しているため、得られた結果は外的妥当性が高いことが期待される。

キーワード: ソフトウェア開発、開発速度、開発期間、外部委託、契約形態

1. はじめに

ソフトウェア開発企業にとって、ソフトウェア開発プロジェクトの結果（コストなど）は非常に重要である。開発プロジェクトの結果に関する研究は、文献[3]などで以前から取り組まれているが、近年においても結果に問題が生じなくなるとはいえない。例えば日経コンピュータの2018年の調査[10]では、プロジェクトの結果（品質、コスト、納期）全てに問題がなかったプロジェクトは52.8%であり、約半数はプロジェクトの結果に問題が生じているといえる。

プロジェクト結果の定義は、顧客満足度[7]など様々なものが存在するが、本研究ではコストと納期の両方に着目する。これはプロジェクトの三角形[1]において、両者にトレードオフの関係があると指摘されており、ある要因（契約形態など）のプロジェクト結果への影響を、より正しく理解できると期待されるためである。より具体的にはコストと納期として、以下の目的変数に着目する。

- 生産性（ソフトウェア規模を開発時間で除したもの）
- 技術者単価
- 開発速度（1ヶ月あたりのソフトウェア開発規模）
- 開発期間予実比（契約時と実際の期間期間の比）

本研究では結果に影響する要因として、プロジェクトの開発体制に着目する。具体的には従来研究（[7][12][13]など）で関連が示唆されている、以下の3つに着目する。

- 開発要員数
- 外部委託（開発企業が一部を外部企業に委託したか）
- 契約形態（請負契約か準委任契約か）

ここで、請負契約とは直感的には固定価格であり、準委任契約は実働時間に基づく価格である。分析では企業横断的に収集されたデータを用いて分析しており、得られた結

果は外的妥当性が高いことが期待される。

2. 関連研究

開発要員数が生産性などのプロジェクト結果に与える影響については、文献[8][15]などで分析されている。また、最大要員数規模比（3章参照）の生産性に対する影響も文献[13]で分析されている。文献[13][15]では、要員の増加は生産性の低下との関連が強いことが示されており、文献[8]では、工期と要員数が1:1の可換ではないことを示している。本研究の分析の一部（生産性に対する影響）は追試験に位置づけられるが、本研究では新たに後述する月平均要員数最大比を定義して分析に用いている。

外部委託と、プロジェクト結果の一つである生産性との関係を分析した研究はいくつか存在する。例えば文献[15]では、外部委託率が高いと生産性が低いことを示している。Trendowicz ら[12]は、外部委託はコストを抑えるために行われていると指摘しているが、生産性と開発費用（または技術者単価）の両者に着目しつつ外部委託の影響を定量的に分析した研究は、我々の知る限り存在しない。海外の企業に外部委託した場合の開発速度（期間）への影響については、Gopal ら[5]が分析しており、関連がないとしている。本研究で用いたデータではほとんどが国内企業への外部委託であり、分析の観点が異なる。

契約形態とプロジェクトの結果との関係を分析している研究は、我々の知る限り少数である。Benaroch ら[2]は、ソフトウェア受託開発プロジェクトにおいて、請負契約と委任契約の比率を決定する要因を分析している。ただし本研究と異なり、契約形態（の比率）が、プロジェクト結果に影響する要因は分析していない。また、本研究では企業横断的に収集されたデータを用いているのに対し、1組織から収集されたデータを用いて分析している。

Jørgensen ら[7]はプロジェクトの契約形態が請負か委任かにより、プロジェクトの成否に影響するかを分析している。プロジェクトの成否は二値で表され、プロジェクトが

1 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology
2 近畿大学
Kindai University
3 経済調査会
Economic Research Association

キャンセルされた、または顧客満足度が非常に低い場合を「失敗」、それ以外の場合を「失敗なし」としており、本研究のようにコストと納期の両者を考慮して分析していない。なお本研究では、1章で述べたように生産性などに関する影響を分析しているが、プロジェクトの成否に関しては分析しておらず、Jørgensenら[7]とは目的変数が異なる。

生産性に影響する要因については、前述の文献[15]や文献[17]など、多くの研究で分析されている。例えば文献[17]では主開発言語だけではなく、各言語の使用比率に着目して分析している。ただし、その他の分析対象の変数は、業種など従来研究（文献[15]など）と同様であり、本研究のように開発体制については分析されていない。

開発速度への影響要因については、生産性ほどは多く分析されておらず、前述のGopalら[5]やBlackburnら[3]の研究において分析されている。Blackburnら[3]は開発体制として最大要員数を用いており、開発速度差の関連がないとしている。単価への影響要因を分析した研究はさらに少なく、文献[16]などで分析されている。文献[16]では開発体制としては契約形態のみを用いており、基本設計工程が請負の場合、技術者単価が低い傾向があることを示している。これらのプロジェクト結果に対する開発体制の影響については、前述のように一部しか分析されていない。

開発期間の予実差（見積誤差）の要因については、Morgenshternら[9]が分析しており、開発体制として要員数のみ考慮し、要員数と予実差に弱い負の相関があることを示している。ただし外部委託や契約形態の影響については考慮していない。プロジェクト結果を「開発者が成功と認識したかどうか」に基づいて定義する研究[4]も存在するが、本研究とはそもそも目的変数が異なる。

3. 分析対象プロジェクト

3.1 プロジェクトの選定

分析対象としたプロジェクトデータは、2001年から2020年度に経済調査会により収集された2,299件である。データは単一の組織から収集されたものではなく、複数の組織から企業横断的に収集されたものである。各組織に質問票を送付し、組織担当者がデータを入力して返送することにより収集された。これは、企業横断的にデータを収集する場合に一般的な方法であり、例えばIPAの調査[6]でも同様の方法で収集している。IPAの調査と同様にデータは公開していないが、文献[11]とほぼ同じデータを用いており、同文献で各変数の基本統計量などが示されている。

収集対象の組織数は405であり、100人未満から10,000人以上の従業員数の組織のプロジェクトが含まれる。従業員数が欠損していないプロジェクトのおおむね半数程度は500人未満の組織から、残りは500人以上の組織から収集された。分析対象プロジェクトの条件を揃えるため、以下の手順で抽出を行った。

1. 要件定義から総合テストまでの工程全てが実施されており、開発規模と開発工数が記録されているプロジェクト680件において生産性を算出した。
2. 1のプロジェクトのうち、生産性の上位2.5%と下位2.5%（合計5%）の生産性となっているプロジェクト34件を外れ値とみなし、2299件のプロジェクトから除外した。
3. 2の2265件のプロジェクトのうち、改造開発プロジェクトを除外し、1472件の新規開発プロジェクトを抽出した。

次章の分析で用いた重回帰分析では、ほとんどの場合で説明変数として開発規模または開発工数を用いている。上記の手順2では、これらのバランスを示す生産性が極端な値となっているプロジェクトを除外した。 $n\%$ のデータを除外する方法は、外れ値処理の一般的な方法のひとつである[18]。

分析では欠損値が含まれるプロジェクトを除外したため、用いたプロジェクト件数は分析によって異なる。用いたプロジェクト件数は各分析において示す。

3.2 分析対象の変数

分析では以下の変数を用いた。

- 開発規模：FP（ファンクションポイント法）により計測された、開発対象ソフトウェアの規模
- 生産性：開発規模 / 実績開発工数（単位：人月）
- 開発速度：開発規模 / 実績開発期間（単位：月）
- 技術者単価：見積ソフトウェア費用（単位：百万円） / 実績開発工数
- 開発期間予実比：契約開発期間 / 実績開発期間
- 最大要員数規模比：最大要員数（単位：人） / 開発規模（単位：FP）
- 月平均要員数[各工程]：実績開発工数（各工程） / 実績開発期間
 - 各工程の値は、各工程比率×月平均要員数[全工程]となる。
- 月平均要員数最大比[各工程]：月平均要員数[各工程] / 最大要員数
- 外部委託[各工程]：各工程を外部委託している場合は1、していない場合は0
- 外部委託[工程不問]：いずれかの工程において、外部委託している場合は1、していない場合は0
- 契約形態[各工程]：各工程において、請負の場合は0、準委任契約の場合は1
- 開発規模カテゴリ：開発規模を4段階（下位25%、50%、75%、100%の4段階）でカテゴリ変数化したもの

各工程とは、システム・ソフトウェア要件定義、基本設計、詳細設計、ソフトウェア構築、結合テスト、総合テスト（ベンダ確認）、全工程（これらすべての工程）を指す。

表 1 月平均要員数最大比の計算例

		要件	基本	詳細	構築	結合	総合
(a) 最大=20	月平均	3	2	3	7	3	2
	月平均最大比	0.15	0.1	0.15	0.35	0.15	0.1
(b) 最大=20	月平均	3	2	3	3	7	2
	月平均最大比	0.15	0.1	0.15	0.15	0.35	0.1
(c) 最大=40	月平均	3	2	3	7	3	2
	月平均最大比	0.075	0.05	0.075	0.175	0.075	0.05

表 2 各工程の工数比率の分布

	要件	基本	詳細	構築	結合	総合
25 パーセンタイル	0.05	0.08	0.12	0.27	0.11	0.06
中央値	0.08	0.12	0.17	0.35	0.15	0.10
75 パーセンタイル	0.11	0.17	0.21	0.44	0.20	0.15
件数	350	435	472	473	469	431

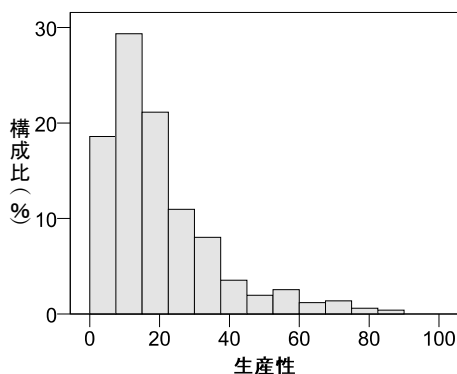


図 1 生産性の分布 (511 件)

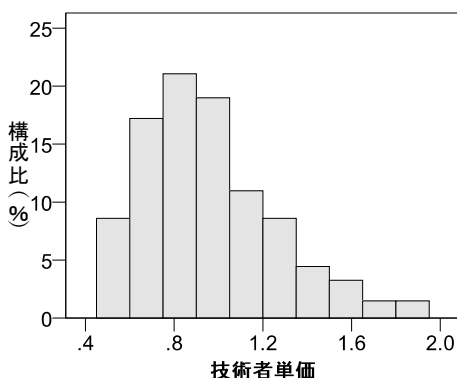


図 2 技術者単価の分布 (337 件)

一般に開発規模が大きくなれば、プロジェクトにおける最大要員数も大きくなる。そこで最大要員数の特徴をより明確に把握するために、文献[13]と同様に最大要員数規模比を定義した。最大要員数はピーク時の開発要員数であり、平常時（月平均）の要員数とは異なる。

月平均要員数と最大要員数のバランスに着目した、月平均要員数最大比を定義した。月平均要員数最大比の計算例を表 1 に示す。表 1(a)と比較して、表 1(b)のようにソフトウェア構築工程の月平均要員数が小さくなった場合、月平均要員数最大比[構築]の値が低下する。また表 1(c)のように、各工程の月平均要員数が同じ場合でも、最大要員数が

大きくなれば、ソフトウェア構築工程を含め、月平均要員数最大比の値は低くなる。

表 1(b)の場合、すなわち各工程比率のばらつきが大きい場合、月平均要員数最大比は単に各工程比率を示していることになる。表 1(c)の場合、すなわち月平均要員数と比較して最大要員数が大きく変化する場合、月平均要員数最大比は月平均要員数と最大要員数のバランスを正しく示しているといえる。最大要員数が大きく変化するかを見るために、(全工程の)月平均要員数と最大要員数の比を計算し、各工程比率のばらつきと比較した。

月平均要員数と最大要員数の比の 25 パーセンタイル、中央値、75 パーセンタイルはそれぞれ 0.35, 0.51, 0.71 であった。表 2 に各工程の工数比率の 25 パーセンタイル、中央値、75 パーセンタイルを示す。前者の比のほうが工程比率よりもばらつきが大きいことから、月平均要員数最大比は月平均要員数と最大要員数のバランスを示しているといえる。

以降では、生産性、開発速度、開発期間予実比（以降は「期間予実比」と表記）、技術者単価をまとめて結果関連変数と呼ぶ。また、結果関連変数以外の上記の変数を体制関連変数と呼ぶ。体制関連変数のうち、最大要員数や最大要員数を用いて定義された最大要員数規模比などの変数をまとめて「要員関連変数」と呼ぶ。

3.3 重回帰分析での説明変数

5 章以降の分析では、体制関連変数と結果関連変数の関係を、重回帰分析を用いて分析した。生産性などの結果関連変数に対して、業種や開発言語にも関係している可能性がある。そこでこれらも説明変数の候補に含め、変数選択法により採用された変数が、結果関連変数それぞれとの関係が強いとみなした。

分析対象プロジェクトにおいて割合が 10%を超える業種、具体的には製造業、流通業、金融保険業、サービス業を、重回帰分析における説明変数の候補に含めた。開発言語については、上位割合の 4 言語、すなわち Java, VB, VB.NET, COBOL を重回帰分析における説明変数の候補に含めた。

文献[14]と同様に、重回帰分析により構築するモデルの説明力を高めるため、生産性などの結果関連変数をそのまま目的変数として用いずに、それぞれの変数の分母（または分子）を説明変数に、分子（または分母）を目的変数とした。例えば生産性に関する分析をする場合、分母の開発規模を説明変数に、分子の開発工数を目的変数とした。変数の標準化偏回帰係数が正の場合、その変数の値が増えると生産性が低下することを示す。以降では、標準化偏回帰係数を偏回帰係数と略する。

4. 予備分析

4.1 結果関連変数の分析

各結果関連変数の性質を把握するために、各変数の分布

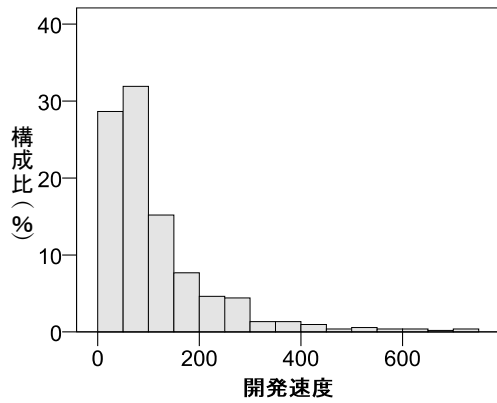


図 3 開発速度の分布 (520 件)

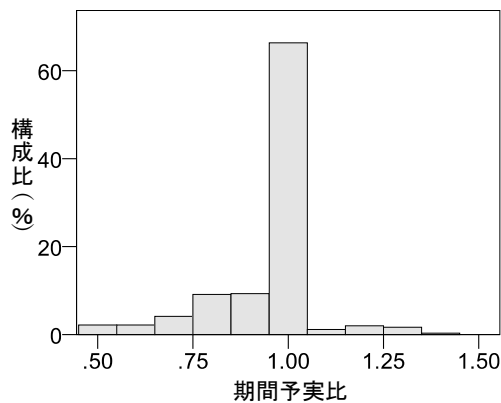


図 4 期間予実比の分布 (603 件)

表 3 結果関連変数間の相関係数

		技術者 単価	開発 速度	期間 予実比
生産性	相関係数	0.07	0.23	0.17
	p 値	0.40	0.00	0.01
	件数	162	503	264
技術者 単価	相関係数		-0.08	0.15
	p 値		0.32	0.01
	件数		162	333
開発速度	相関係数			-0.04
	p 値			0.51
	件数			276

や相互関係、開発規模との関係を確かめた。生産性と技術者単価の分布を図 1、図 2 に示す。生産性はプロジェクトにより大きな違いがあるのに対し、技術者単価は 0.5 から

表 4 開発規模と結果関連変数との相関係数

	生産性	技術者 単価	開発速度	期間 予実比
相関係数	0.03	-0.02	0.86	-0.11
p 値	0.46	0.76	0.00	0.08
件数	511	162	520	276

表 6 規模と外部委託とのクラメールの V

	工程不問	要件	基本	詳細	構築	結合	総合
クラメールの V	0.29	0.09	0.16	0.10	0.11	0.14	0.10
p 値	0.03	0.76	0.20	0.50	0.47	0.24	0.64
件数	109	156	191	216	218	213	186

1.5 の間に多くのプロジェクトが含まれている。このことから、技術者単価より生産性の違いのほうがソフトウェア価格に大きく影響するといえる。ただし、発注者にとって生産性は制御が難しいため、技術者単価も無視できない要因である。

図 3、図 4 に示すように、開発速度はプロジェクトにより大きな差があるのに対し、期間予実比については 60% を超えるプロジェクトでほとんど差がない。一方で 10% のプロジェクトにおいて、契約時の開発工期が、実際の工期の 75% 以下の値でしか設定されていなかった。

各結果関連変数の相互関係と開発規模との関係を、スピアマンの順位相関係数を用いて確かめた。以降では、スピアマンの順位相関係数を相関係数と略する。相関係数の検定には t 分布を利用した。結果関連変数間の関係を表 3 に示す。生産性と開発速度のみ相関係数の絶対値が 0.2 を超えていたが、その他の相関係数は 0.2 を下回っており、相互の関係は弱いといえる。

開発規模と結果関連変数との関係を表 4 に示す。開発速度以外の結果関連変数については、開発規模との関係は弱かった。開発規模と開発速度との関係は非常に強かった。一般にあまりに長期の開発期間を設定することは難しいため、規模が大きくなると、規模に比して短時間で（多人数により）開発する。このため、規模が大きくなると開発速度が速まると考えられる。

本節の結果を以下にまとめる。

- 技術者単価に比べ、生産性はプロジェクトによって大きく異なる。
- 開発速度は開発規模との関係が強い。
- 期間予実比はプロジェクトによる差が小さい。
- 開発速度を除き、結果関連変数と開発規模との関係は弱い。よって開発速度以外の分析では、規模の影響を考慮しなくてよい。
- 結果関連変数間の関係は弱いため、それぞれの相互作用を考慮しなくてよい。

4.2 体制関連変数の分析

開発規模との関係：開発規模により、選択できる開発体制が制限され（例えば開発規模が大きい場合、ほとんどの

表 5 規模と要員関連変数との相関係数

	月平均要員数最大比							最大要員数 規模比
	全工程	要件	基本	詳細	構築	結合	総合	
相関係数	0.08	-0.01	0.09	0.08	0.01	0.09	0.15	-0.56
p 値	0.12	0.89	0.23	0.23	0.90	0.20	0.04	0.00
件数	381	157	197	218	218	212	195	398

表 7 規模と契約形態とのクラメールの V

	要件	基本	総合
クラメールの V	0.19	0.13	0.07
p 値	0.13	0.39	0.80
件数	149	180	179

表 8 最大要員数規模比と外部委託とのクラメールの V

	全工程	要件	基本	詳細	構築	結合	総合
クラメールの V	0.17	0.19	0.22	0.24	0.21	0.24	0.22
p 値	0.43	0.14	0.04	0.01	0.03	0.01	0.04
件数	96	146	179	203	205	200	174

表 10 月平均要員数最大比と外部委託とのクラメールの V

	全工程	要件	基本	詳細	構築	結合	総合
クラメールの V	0.08	0.13	0.21	0.05	0.06	0.13	0.07
p 値	0.68	0.28	0.00	0.84	0.67	0.13	0.66
件数	219	247	304	361	365	358	314

表 12 外部委託と契約形態とのクラメールの V

	要件	基本	総合
クラメールの V	0.05	0.05	0.10
p 値	0.35	0.37	0.06
件数	294	346	362

表 13 開発工数（生産性）と要員関連変数との重回帰分析（119 件）

変数	偏回帰係数	p 値
開発規模	1.22	0.00
最大要員数規模比	0.62	0.00
月平均要員数最大比[全工程]	0.20	0.00
月平均要員数最大比[総合]	0.07	0.04

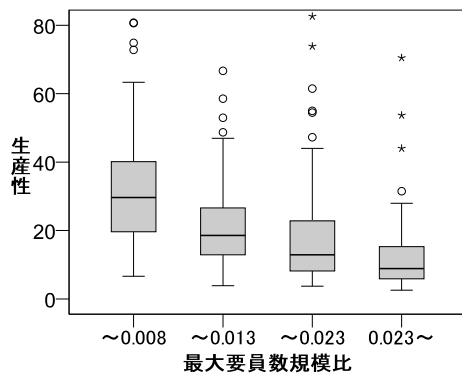


図 5 生産性と最大要員数規模比との関係（384 件）

プロジェクトで外部委託を行うなど、規模と開発体制の関連が強くなる可能性がある。そこで開発規模と体制関連変数との関係を確かめた。比例尺度である月平均要員数最大比（全工程のみ示す）と最大要員数規模比については相関係数を用い、名義尺度である外部委託と契約形態については、開発規模カテゴリとのクラメールの V を算出した。なお契約形態については、詳細設計、ソフトウェア構築、結合テストにおいて、90%以上のプロジェクトの契約形態が同一であった。このため以降の分析では、これらの工程の契約形態については分析に含めない。

規模と要員関連変数との関係を表 5 に示す。最大要員数規模比のみ、比較的規模と強い関係があったが、その他の変数については開発規模との関係は弱かった。規模と外部

表 9 最大要員数規模比と契約形態との

クラメールの V			
	要件	基本	総合
クラメールの V	0.13	0.10	0.17
p 値	0.50	0.68	0.19
件数	139	168	167

表 11 月平均要員数最大比と契約形態との

クラメールの V			
	要件	基本	総合
クラメールの V	0.16	0.15	0.11
p 値	0.10	0.10	0.31
件数	235	281	297

委託との関係を表 6 に示す。工程を問わず外部委託がある場合、規模も大きい傾向がやや見られたが、各工程の外部委託有無と規模との関係は弱かった。規模と契約形態との関係を表 7 に示す。表に示すように、規模と契約形態との関係は弱かった。

体制関連変数間の関係：体制関連変数間の関係について述べる。表 8 に最大要員数規模比と外部委託の関係を示す。クラメールの V が 0.2 を上回っている場合が多く、弱い関係が見られる（規模よりも最大要員数規模比のほうが関係が強い。表 6 参照）。表 9 に示すように、最大要員数規模比と契約形態は関係が見られなかった。

表 10、表 11 は月平均要員数最大比と外部委託、契約形態について、同じ工程における関係（例えば基本設計工程での月平均要員数最大比と、同工程での外部委託との関係など）を示したものである。全般的にこれらの関係は弱かった。同様に、外部委託と契約形態との関係を示したものが表 12 である。これらの関係も弱かった。

本節の分析結果を以下にまとめる。

- 最大要員数規模比を除き、開発規模と体制関連変数の関係は弱いため、分析において規模の影響を考慮しなくてよい。
- 体制関連変数間の関係は弱いため、それぞれの相互関係を考慮しなくてよい。

5. 要員関連変数とプロジェクト結果との関係

要員関連変数と結果関連変数の関係を、重回帰分析を用いて分析した。開発工数（生産性）を目的変数とした重回帰分析の結果を表 13 に示す。最大要員数規模比の偏回帰係数が正の値となり、かつ比較的大きかった。このことから、最大要員数規模比が高くなると生産性が低くなるといえる。月平均要員数最大比は偏回帰係数が正の値となった。月平均要員数最大比の分母は最大要員数（分子の月平均要員数よりも大きい）であり、月平均要員数と最大要員数の差が大きいと、分母の値が大きくなり、月平均要員数最大比は小さくなる。すなわち、一時的に要員数を多く配置すると生産性が高くなる（目的変数である工数が減少する）という、やや直感と異なる結果となっている。変数選択の

表 14 開発期間[実績] (開発速度) と要員関連変数との重回帰分析 (119 件)

変数	偏回帰係数	p 値
開発規模	0.71	0.00
月平均要員数最大比[結合]	-0.18	0.01
月平均要員数最大比[要件]	-0.13	0.04

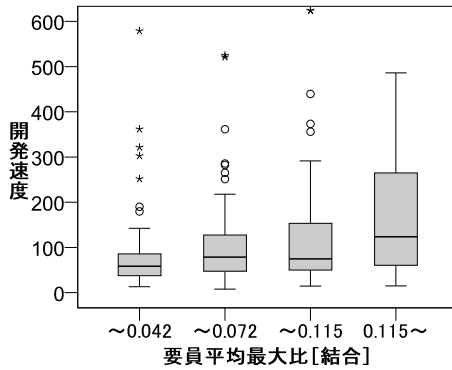


図 6 開発速度と月平均要員数最大比[結合]との関係 (212 件)

表 15 開発期間[実績] (期間予実比) と要員関連変数との重回帰分析 (118 件)

変数	偏回帰係数	p 値
開発期間[契約]	0.94	0.00
月平均要員数最大比[構築]	-0.10	0.00
月平均要員数最大比[総合]	0.06	0.04

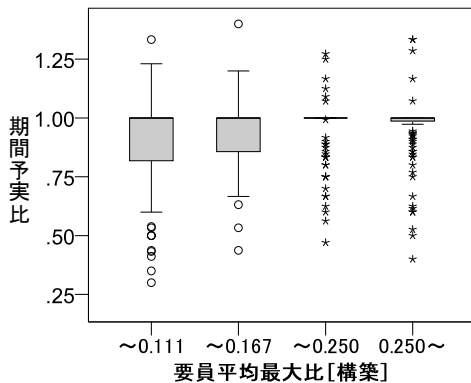


図 7 期間予実比と月平均要員数最大比[構築]との関係 (426 件)

結果、業種や開発言語が説明変数として採用されなかったことから、これらの変数は要員関連変数と比べて、生産性への影響が小さいといえる。

最大要員数規模比と生産性との関係を示した箱ひげ図を図 5 に示す。図からも最大要員数規模比が低いほど生産性が高い傾向が明確に見られる。4 章で述べたように、最大要員数規模比と開発規模は関係があるため、開発規模カテゴリ (3 章参照) により 4 つにデータを層別して同様の箱ひげ図を作成したが、同様の傾向が見られた。

開発期間[実績] (開発速度) を目的変数として重回帰分

析した結果を表 14 に示す。月平均要員数最大比の偏回帰係数が負の値であり、結合テストの工数比率が高い、または最大要員数が小さい場合 (3 章参照)、開発速度が速くなることを示している。開発速度と月平均要員数最大比[結合]との関係を示した箱ひげ図を図 6 に示す。月平均要員数最大比が高いほど開発速度が高い傾向が見られるが、それぞれの箱の縦位置 (四分位範囲) には重なりが見られ、図 5 ほど明確な傾向ではない。

開発期間[実績] (期間予実比) を目的変数とした重回帰分析の結果を表 15 に示す。こちらは月平均要員数最大比の目的変数への効果が、ソフトウェア構築工程と総合テスト工程で不一致であった。総合テスト工程については偏回帰係数の絶対値が小さいため、ここでは考察しない。ソフトウェア構築工程の偏回帰係数が負であることから、要員数の平均と最大数の差が小さいと、予実比が小さくなる可能性がある。期間予実比と月平均要員数最大比[構築]との関係を図 7 に示す。ソフトウェア構築の工数比率が低い (設計、テストの工程比率が高い)、または最大要員数が大きい (図左側の 2 つの箱) 場合 (3 章参照)、期間予実比が低い (予定と実績の差が大きくなる) 傾向が見られる。なお、図右側の 2 つの箱では箱 (四分位範囲) が非常に狭くなっているが、データ件数はそれぞれ 100 件以上ある。

本章の分析結果を以下にまとめる。

- 生産性と最大要員数規模比との関係が強かった。
- 開発速度と一部工程における月平均要員数最大比との関係が見られた。
- 期間予実比と一部工程における月平均要員数最大比との関係が見られた。

6. 外部委託とプロジェクト結果との関係

結果関連変数と各工程の外部委託を表す変数との関係を、重回帰分析を用いて分析した。開発工数 (生産性) を目的変数とした重回帰分析の結果を表 16 に示す。業種や開発言語も説明変数として採用されたが、外部委託の偏回帰係数はそれらよりも大きく、かつ係数の絶対値も比較的大きかった。偏回帰係数の値が正となったことから、結合テストを外部委託している場合には工数が増加する、すなわち生産性が低下することを示している。結合テストを外部委託するプロジェクトでは高い信頼性が求められるために、生産性が低下している可能性がある。ただし、図 8 に示すように外部委託をした場合としていない場合で、生産性の四分位範囲 (箱の縦位置) に違いは少なく、外部委託の影響は明確ではない。なお、開発費用 (技術者単価) を目的変数とした場合、外部委託は説明変数として採用されなかった (開発工数 (生産性) のみが説明変数として採用された) ことから、生産性の低下分を技術者単価で吸収しているとはいえない。

開発費用 (技術者単価) を目的変数とした場合、工数の

表 16 開発工数（生産性）と外部委託関連変数との重回帰分析（43 件）

変数	偏回帰係数	p 値
開発規模	0.79	0.00
外部委託[結合]	0.35	0.00
業種[製造業]	-0.20	0.00
開発言語[Java]	0.16	0.01

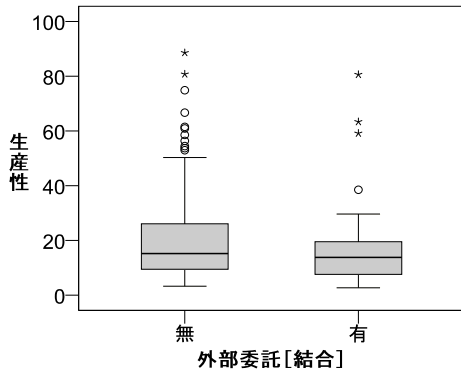


図 8 生産性と外部委託[結合]との関係（202 件）

表 17 開発期間[実績]（開発速度）と外部委託関連変数との重回帰分析（44 件）

変数	偏回帰係数	p 値
開発規模	0.70	0.00
外部委託[基本]	0.26	0.01

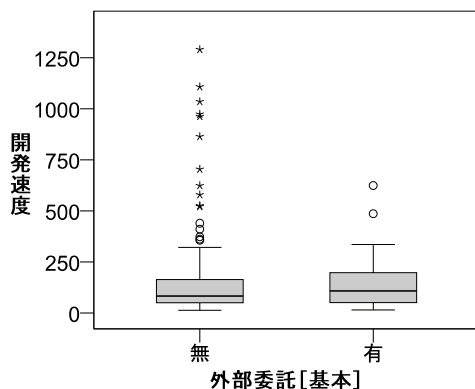


図 9 開発速度と外部委託[基本]との関係（191 件）

表 18 開発期間[実績]（期間予実比）と外部委託関連変数との重回帰分析（104 件）

変数	偏回帰係数	p 値
開発期間[契約]	0.92	0.00
開発言語[VB]	0.09	0.00
外部委託[総合]	-0.08	0.01

みが説明変数として採用された。このことから、要員関連変数は技術者単価との関係が弱いと考えられる。

開発期間[実績]（開発速度）を目的変数として重回帰分析した結果を表 17 に示す。偏回帰係数が正の値となったことから、基本設計を外部委託している場合には工期が増加する、すなわち開発速度が低下することを示している。基本設計を外部委託した場合は、委託先とのコミュニケー

表 19 費用（技術者単価）と契約形態関連変数との重回帰分析（177 件）

変数	偏回帰係数	p 値
開発工数	0.94	0.00
契約形態[要件]	0.07	0.00

表 20 開発期間[実績]（開発速度）と契約形態関連変数との重回帰分析（127 件）

変数	偏回帰係数	p 値
開発規模	0.66	0.00
契約形態[基本]	0.15	0.03

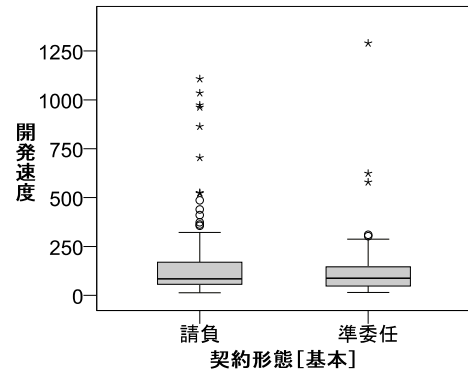


図 10 開発速度と契約形態[基本]との関係（180 件）

ションに時間が掛かり、速度が低下している可能性がある。ただし、図 9 に示すように外部委託をした場合としていない場合で、開発速度の四分位範囲（箱の縦位置）に違いは少なかった（外部委託をしていない場合において、開発速度が高いプロジェクトが外れ値として多数存在していた）。

開発期間[実績]（期間予実比）を目的変数とした重回帰分析の結果を表 18 に示す。外部委託[総合]が説明変数として採用されたが、偏回帰係数の絶対値が小さかった。また、開発言語のほうに偏回帰係数の絶対値が大きかった。このことから、外部委託は期間予実比との関係が弱いといえる。本章の分析結果を以下にまとめる。

- 生産性と外部委託には関係が見られるが、明確とまではいえない。
- 技術者単価と外部委託に関係は見られなかった。
- 開発速度と外部委託には関係がある可能性がある。
- 期間予実比と外部委託との関係は弱かった。

7. 契約形態とプロジェクト結果との関係

結果関連変数と各工程の契約形態を表す変数との関係を、重回帰分析を用いて分析した。開発工数（生産性）を目的変数とした場合、各工程の契約形態は説明変数として採用されなかった。このことから、各工程の契約形態は生産性との関係が弱いと考えられる。

開発費用（技術者単価）を目的変数として重回帰分析した結果を表 19 に示す。偏回帰係数が正の値となったことから、システム・ソフトウェア要件定義を準委任契約とし

表 21 開発工数（生産性）と体制関連変数との重回帰分析（35 件）

変数	偏回帰係数	p 値
開発規模	1.30	0.00
最大要員数規模比	0.71	0.00
月平均要員数最大比[全工程]	0.13	0.07
外部委託[基本設計]	0.15	0.00
月平均要員数最大比[詳細]	0.14	0.01
月平均要員数最大比[総合]	0.12	0.04

表 22 開発期間[実績]（開発速度）と体制関連変数との重回帰分析（35 件）

変数	偏回帰係数	p 値
開発規模	0.73	0.00
月平均要員数最大比[構築]	-0.27	0.02
外部委託[基本]	0.26	0.02

表 23 開発期間[実績]（期間予実比）と体制関連変数との重回帰分析（31 件）

変数	偏回帰係数	p 値
開発期間[契約]	0.91	0.00
最大要員数規模比	-0.12	0.03

ている場合に開発費用が増加する、すなわち技術者単価が高くなることを示している。この結果は文献[16]と同様のものであるため、箱ひげ図は省略する。

開発期間[実績]（開発速度）を目的変数として重回帰分析した結果を表 20 に示す。偏回帰係数が正の値となったことから、基本設計が準委任契約の場合には工期が増加する、すなわち開発速度が低下することを示している。基本設計を準委任契約にした場合、発注組織と開発企業で慎重にコミュニケーションを取るため、速度が低下するという事も考えられる。ただし図 10 に示すように、請負と準委任とで、開発速度の四分位範囲（箱の縦位置）に違いはほとんどなかった。請負契約の場合において、開発速度が高いプロジェクトが外れ値として多数存在していた。これらの箱ひげ図の特徴は、図 9 の外部委託と開発速度の関係を示す箱ひげ図と類似している。

開発期間[実績]（期間予実比）を目的変数として重回帰分析を行った結果、各工程の契約形態は説明変数として採用されなかった。このことから、契約形態が期間予実比に与える影響は小さいと考えられる。

本章の分析結果を以下にまとめる。

- 生産性と契約形態に関係は見られなかった。
- 技術者単価と契約形態との関係が見られた。
- 開発速度と契約形態には関係がある可能性がある。
- 期間予実比と契約形態には関係が見られなかった。

8. プロジェクト体制と結果との関係

8.1 プロジェクト体制と結果との関係

結果関連変数である生産性、開発速度、開発期間予実比、技術者単価のうち、技術者単価については契約形態とのみ

関連しており、その他の変数に対しては、要員関連変数、外部委託、契約形態のうちの複数の要因が関連していた。どの要因がより強く結果関連変数と関係しているかを明らかにするために、5 章から 7 章において関係が見られた要因（例えば生産性については要員関連変数と外部委託）を説明変数として分析を行った。

開発工数（生産性）を目的変数として重回帰分析した結果を表 21 に示す。表 13 と同様に、最大要員数規模比の偏回帰係数が大きく、月平均要員数最大比[全工程]がその次に大きい偏回帰係数として含まれている。また、係数の符号も表 13 と同じであった。これらの次に偏回帰係数が大きい変数として、外部委託[基本設計]が採用されていた。工程は異なるが表 16 と係数の符号が一致しており、分析結果は 5 章と矛盾していない。これらの結果より、生産性に対しては要員関連変数と外部委託の両方が関係しているといえる。

開発期間[実績]（開発速度）を目的変数として重回帰分析した結果を表 22 に示す。表 14 における結果と比較すると、工程は異なるがどちらの表でも月平均要員数最大比が説明変数として採用されており、かつ偏回帰係数の符号も一致していた。また、外部委託[基本]が採用されており、こちらは工程、偏回帰係数の符号とも表 17 と一致していた。このことから、開発速度に関しても、要員関連変数と外部委託の両方が関係しているといえる。

開発期間[実績]（期間予実比）を目的変数として重回帰分析した結果を表 23 に示す。外部委託、契約形態とも説明変数として採用されなかったことから、これらは要員関連変数と比較して、期間予実比への影響が小さいといえる。説明変数として採用されたものは最大要員数規模比であり、表 14 の結果とは異なる（要員関連変数という点では一致している）。リストワイズ除去の影響により、表 15 は 118 件のプロジェクト、表 23 は 31 件のプロジェクトに基づいた結果であることから、表 15 のほうがより一般的（妥当）な結果であると考えられる。

8.2 分析結果の活用方法

本研究の分析結果は、以下に対しての活用が期待できる。

- プロジェクト体制選択
- 類推法による見積もり
- ステークホルダ間のコンセンサス獲得
- 収集対象データの絞り込み

(a)は直接的な利用方法であり、例えば外部委託をするかどうかを決定する際、生産性が低下するが技術者単価は低下しない傾向があることを考慮した上で体制を選択することが可能となる。プロジェクトの体制選択は自由にできるとは限らず、ある程度の制約が伴うことがあるが、体制の結果への影響を考慮することにより、例えば予備費のより適切な設定が期待できる。

(b)以降は間接的な利用方法である。類推法とは、過去の

類似した事例に基づき、エキスパートが見積もりを行う方法である。プロジェクト結果に関連する項目は、類似した事例を特定する際に考慮すべきであるといえる。例えば外部委託は生産性と関連しているため、外部委託の状況を考慮して類似した事例を特定することにより、類推法による工数見積りの精度が高まることが期待される。

(c)に関しては、ソフトウェアプロジェクトには、開発者、プロジェクトマネージャ、営業担当、PMO (Project Management Office)、ユーザ側のシステム担当、ユーザ側の経営者など、様々なステークホルダ (利害関係者) が存在する。ステークホルダ間でプロジェクト結果に対するコンセンサスを得る場合に、分析結果を活用することができる。例えば外部委託が避けられない場合、開発速度が低下する傾向が一般に見られるという情報をステークホルダ間で共有した上で、納期についてコンセンサスを得るなどの活用方法が期待できる。

(d)に関して、ソースコード行数などのプロダクトメトリクスと異なり、外部委託などのプロセスメトリクスは人手で収集する必要がある。そのため、プロセスメトリクスの収集には一定のコストが必要であり、想定されるプロセスメトリクスをすべて収集することは現実的ではない。例えば本研究でプロジェクト結果との関連が見られた外部委託に関するデータは、プロセスメトリクスとして収集しておく、見積もりモデルの作成時などに有効活用できる可能性がある。

9. まとめ

本研究では、プロジェクトの結果 (コストと納期) に対する、ソフトウェア開発体制 (開発要員数、外部委託、契約形態) の影響について分析した。企業横断的に収集されたプロジェクトを分析した結果、以下の傾向が見られた。

1. 結果関連変数間の関係は弱い。
2. 体制関連変数間の関係は弱い。
3. 生産性は最大要員数規模比と外部委託の両方が関係している。最大要員数規模比の関係がより強い。
4. 技術者単価は契約形態とのみ関係している (外部委託は影響していない)。
5. 開発速度は月平均要員数最大比と外部委託の両方が関係している。月平均要員数最大比の関係がより強い。
6. 期間予実比は要員関連変数とのみ関係している。

上記のうち、外部委託に関する3と4の知見、及び5の知見が本研究での新たな貢献である。これらの結果は、例えばプロジェクトの体制選択時に活用し、プロジェクトの結果見積りに役立てることなどが期待される。

謝辞 本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金 (基盤 C : 課題番号 21K11840, 基盤 S : 課題番号 20H05706) による助成を受けた。

参考文献

- [1] Atkinson, R.. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*. 1999, vol.17, no.6, pp.337-342.
- [2] Benaroch, M., Lichtenstein, Y., and Fink, L.. Contract Design Choices and the Balance of *Ex Ante* and *Ex Post* Transaction Costs in Software Development Outsourcing. *MIS Quarterly*. 2016, vol.40, no.1, pp.57-82.
- [3] Blackburn, J., Scudder, G., and Wassenhove, L.. Improving speed and productivity of software development: a global survey of software developers. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 1996, vol.22, no.12, pp.875-885.
- [4] Cerpa, N., Bardeen, M., and Kitchenham, B., and Verner, J.. Evaluating logistic regression models to estimate software project outcomes. *Information and Software Technology*. 2010, Vol.52, no.9, pp.934-944.
- [5] Gopal, A., Espinosa, J., Gosain, S., and Darcy, D.. Coordination and Performance in Global Software Service Delivery: The Vendor's Perspective. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2011, vol.58, no.4, pp.772-785.
- [6] 情報処理推進機構 社会基盤センター. ソフトウェア開発データ白書 2018-2019. 2018, 情報処理推進機構.
- [7] Jørgensen, M., Mohagheghi, P., and Grimstad, S.. Direct and indirect connections between type of contract and software project outcome. *International Journal of Project Management*. 2017, vol.35, no.8, pp.1573-1586.
- [8] 柿元健, 門田暁人, 角田雅照, 松本健一, 菊地奈穂美. 規模・工期・要員数・工数の関係の定量的導出. *SEC journal*. 2008, vol.4, no.2, pp.6-11.
- [9] Morgenshtern, O., Raz, T., and Dvir, D.. Factors affecting duration and effort estimation errors in software development projects. *Information and Software Technology*. 2007, vol.49, no.8.
- [10] 西村崇, 齊藤壮司, 田中淳. 半数が「失敗」 1700 プロジェクトを納期、コスト、満足度の3軸で独自調査. *日経コンピュータ*. 2018, 2018年3月1日号.
- [11] 大岩佐和子, 押野智樹, 中井聡美. ソフトウェア開発データリポジトリの分析. 2020, 経済調査会.
- [12] Trendowicz, A., and Münch, J.. Chapter 6 Factors Influencing Software Development Productivity –State-of-the-Art and Industrial Experiences. *Advances in Computers*. 2009, vol.77, pp.185-241.
- [13] 角田雅照, 門田暁人, 松本健一, 高橋昭彦. 生産性要因に基づいて層別されたソフトウェア開発工数見積もりモデル. *SEC journal*. 2009, vol.5, no.1, pp.58-67.
- [14] Tsunoda, M., Monden, A., Matsumoto, K., Ohiwa, S., and Oshino, T.. Benchmarking It Operations Cost Based on Working Time and Unit Cost. *Science of Computer Programming*. 2017, vol.135, p.57-87.
- [15] Tsunoda, M., Monden, A., Yadohisa, H., Kikuchi, N., and Matsumoto, K.. Software Development Productivity of Japanese Enterprise Applications. *Information Technology and Management*. 2009, vol.10, no.4, pp.193-205.
- [16] 角田雅照, 松本健一, 大岩佐和子, 押野智樹. ユーザによるソフトウェア価格算出を考慮した技術者単価の推定支援. *情報処理学会論文誌*. 2022, vol.63, no.4, pp.960-972.
- [17] 角田雅照, 松本健一, 大岩佐和子, 押野智樹. プログラミング言語の使用割合とソフトウェア開発の生産性との関係. *コンピュータソフトウェア*. 2022, vol.38, no.4 (to appear).
- [18] Vieira, E.. *Introduction to Real World Statistics*. Routledge, 2017, 628p.