

自主研究

ソフトウェア開発工数積算 のための生産性分析

ソフトウェア開発に関する 研究テーマの背景について

財団法人経済調査会 第一調査部

財団法人経済調査会（以下、「当会」という）では、過去15年以上にわたり、コンピュータシステムのソフトウェア開発や運用等にかかわる技術者の料金について調査を実施し、その結果を月刊「積算資料」誌等で公表してきた。

これは、特に官公庁等において、情報システム関連業務を外部の企業に委託発注する際の、予定価格算出あるいは見積査定の基礎資料として利用されることを想定しているもので、近年の情報化投資の拡大とともに高い関心を集めている。

しかし、コンピュータシステムの開発環境が急速に変化している現在、発注者・受注者ともにソフトウェア開発工数の算出にあたって、多くの場合、従来の算出方法では工数、費用を求めがたい状況になっている。このため、当会では、技術者の料金情報のみならず、ソフトウェア開発の工数・費用算出に関する体系を標準化することが重要であると考えに至った。

また、当会ではかねてより、ソフトウェア規模の計測手法として、ファンクションポイント法に注目してきた。この手法が最善であるかは議論の残るところではあろうが、客観

的・定量的にソフトウェアの規模を計測することができる、比較的開発の早い時期に規模を把握できるといった利点の他、IT政府調達における動向も考慮するならば、現時点では一定の評価をすべきものと考えられる。

そこで、当会では、平成10年からソフトウェア開発の受注者側である大手開発企業の有識者の方々に参加いただき、ソフトウェア開発費積算研究委員会を当会に設置し、ソフトウェア開発費用の算出をめぐる諸問題の調査・研究をおこなってきた。

同委員会は、ソフトウェア開発費用の算出に関する諸問題を整理し、合理性、妥当性の高いソフトウェア開発工数・費用の算出方法について研究することを目的としている。

今回、情報サービスに関する調査項目や調査結果をより深く分析すること、特にソフトウェア開発の工数算出に影響を与えられようと考えられる要因について信頼性の高いデータを取得することを目的に国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学との共同研究を実施することに至ったので、その成果の一部をここに公表する。

ソフトウェア開発工数積算 のための生産性分析

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

角田 雅照 門田 暁人 松本 健一

1 まえがき

ソフトウェア開発の生産性は、ソフトウェア開発の工数に大きく関係する要因であり、開発工数を見積もる際の基準となるものである。ただし、生産性にはシステムの対象業種、ソフトウェアの種類、開発言語、開発要員数や開発要員の経験といったさまざまなプロジェクト特性が影響している[1][4][5][6]。生産性に強く影響するプロジェクト特性を知り、開発工数を見積もる際にそれらのプロジェクト特性を考慮することにより、より正確な見積もりを行うことが可能となる。

本稿の目的は、ソフトウェア開発プロジェクトのデータを分析し、さまざまなプロジェクト特性と生産性との関係を明らかにすることである。分析では、財団法人経済調査会により平成18年度に実施された、ソフトウェア開発に関する調査において収集されたプロジェクトのデータを用いた。近年では、International Software Benchmarking Standards Group (ISBSG) [3]や情報処理推進機構 (IPA) ソフトウェアエンジニアリングセンター (SEC) [7]により、ソフトウェア開発プロジェクトのデータが収集されている。ただし、ISBSGのデータは海外の企業のプロジェクトが多数を占める。SECのデータは収集対象となった企業数がそれほど多くなく (2006年度に収集されたデータでは19社)、比

較的従業員数の多い企業で行われたプロジェクトが中心である。それに対し、財団法人経済調査会のデータは、104社から収集されたものであり、従業員数4人の企業から従業員数約40,000人の企業のデータまで含まれており、非常に多様なプロジェクトが含まれるという特徴がある。

2 分析対象データ

分析に用いたデータは、財団法人経済調査会によって平成18年度に104社から収集された、153プロジェクトの実績値である。プロジェクトごとに、約140個の変数 (プロジェクト特性) が記録されている。ただし、変数によっては欠損値 (値が未記録であること) が多く含まれている場合があった。

分析対象のプロジェクトの条件を揃えるため、下記の条件に従ってデータを抽出した。

- ・新規開発のプロジェクト (改造のプロジェクトは分析から除外した)。
- ・基本設計、詳細設計、プログラム設計・製造、ソフトウェアテスト、システムテスト1の工程比率の合計が100%のプロジェクト。もしくは、各工程の比率は欠損しているが、開発工程の範囲が基本設計からシステムテストまでのプロジェクト (一部の工程しか実施していないプロジェクトは分析から除

1. 一般にソフトウェア開発では、設計を行い (設計工程)、設計に従ってプログラム作成 (製造工程)、プログラムの動作をテストする (試験工程) が実施される。なお、基本設計、詳細設計、プログラム設計・製造、ソフトウェアテスト、システムテストの各工程の定義については「月刊 積算資料」を参照されたい。

外した)。

- ・実績FP (ファンクションポイント2)、実績開発工数が計測されているプロジェクト (生産性を計算するためには実績FP、実績開発工数が計測されている必要がある)。

データを抽出した結果、分析対象のプロジェクトは43件となった。分析対象のプロジェクトのうち37件は事務系、4件は制御系、残りはその他のシステム開発であり、組み込み系システム開発のプロジェクトは含まれていなかった。1件のプロジェクトを除き、開発方法論はウォーターフォールであった。

本稿では、実績FPを基本設計からシステムテストにおける開発 (総) 工数 (人月) で割った値を生産性と定義した。表 1に抽出した43件のプロジェクトにおける生産性の統計量を示し、生産性の分布を図 1に示す。生産性の第1四分位数 (生産性を高い順に並べた場合の下位25%) と第3四分位数 (生産性を高い順に並べた場合の上位25%) を比較すると、約3.3

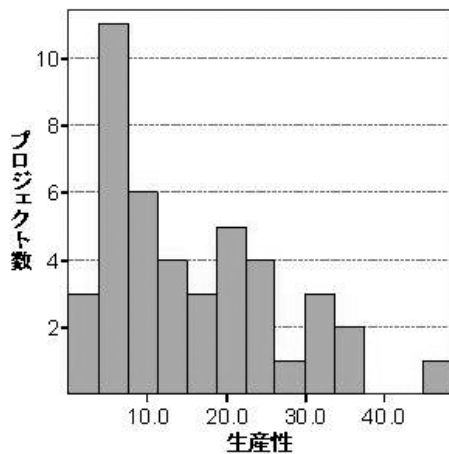


図-1 生産性の分布

表-1 生産性の統計量 (FP/人月)

平均値	中央値	標準偏差	最小値	最大値
15.5	12.8	10.9	1.3	48.7

表-2 分析対象のプロジェクト特性

プロジェクト特性	種別	詳細説明
発注者分類	カテゴリ	府省庁, 地方自治体, 民間企業 (親会社), 民間企業 (親会社以外)
システム構成	カテゴリ	クライアントサーバシステム, Web系システム, メインフレームシステム
適用分野	カテゴリ	事務系, 制御系
適用業種	カテゴリ	建設業, 製造業, 電気・ガス・熱供給・水道業, 情報通信業, 運輸業, 卸売・小売業, 金融・保険業, 不動産業, 飲食店, 宿泊業, 医療, 福祉, 教育, 学習支援業, 公務
サーバOS	カテゴリ	UNIX, Linux, Windows NT系
データベース	カテゴリ	Microsoft SQL Server, Oracle, その他 (オープンソース), その他 (非オープンソース)
開発技法	カテゴリ	構造化, DOA, オブジェクト指向
開発作業標準	カテゴリ	使用した, 使用しなかった
主開発言語	カテゴリ	使用割合が50%以上の開発言語 ASP, ASP.NET, COBOL, Delphi, Java, SQL, VB, VB.NET
最大開発要員数	数値	ピーク時の要員数
実績開発期間	数値	開発期間の実績値
実績FP	数値	未調整ファンクションポイントの実績値
工数誤差	数値	工数誤差 = $\frac{\text{実績開発工数}}{\text{見積開発工数}}$
規模誤差	数値	規模誤差 = $\frac{\text{実績FP}}{\text{見積FP}}$
期間誤差	数値	期間誤差 = $\frac{\text{実績開発期間}}{\text{見積開発期間}}$
開発期間規模比	数値	規模あたりの開発期間の長短を表す。 開発期間規模比 = $\frac{\text{実績開発期間}}{\text{実績FP}}$
開発要員規模比	数値	規模あたりの開発要員の多少を表す。 開発要員規模比 = $\frac{\text{最大開発要員数}}{\text{実績FP}}$
基本設計比率	数値	全工程に対する基本設計工程の割合
詳細設計比率	数値	全工程に対する詳細設計工程の割合
PG設計製造比率	数値	全工程に対するプログラム設計・製造工程の割合
ソフトウェアテスト比率	数値	全工程に対するソフトウェアテスト工程の割合
システムソフト比率	数値	全工程に対するシステムソフト工程の割合

2.FP (ファンクションポイント) とはソフトウェアの規模を表す値であり、FPが大きいほど規模が大きいことを表す。FPは機能数に基づいて計測される。FPの計測値には未調整の値と調整済みの値があるが、本稿では未調整のFPを用いた。

倍の差があった。

分析を行ったプロジェクト特性を表 2 に示す。欠損値の多いプロジェクト特性、およびほとんどのプロジェクトで同一の値となっていたプロジェクト特性は分析から除外した。また、データに含まれていないプロジェクト特性（工数誤差、規模誤差、期間誤差、開発期間規模比、開発要員規模比）を新たに定義した。

③ 生産性の要因分析

3.1 生産性に影響する要因の特定

生産性に影響している要因を特定するために、一元配置分散分析の有意確率と（調整済み）寄与率を求め、生産性と各プロジェクト特性との関連の有無と、生産性と各プロジェクト特性との関連の強さを分析した。一元配置分散分析は、カテゴリデータと数値データの変数の関連の有無と強さを分析する手法であり、有意確率³が10%未満になった場合、そのプロジェクト特性と生産性は統計的に見て関連があることを示す。また、寄与率は関連の強さを表す。寄与率は0%から100%の値をとり、寄与率が大きいほどプロジェクト特性と生産性の関連が強いことを示す。

一元配置分散分析にあたり、全てのプロジェクト特性をカテゴリデータの変数として扱うため、数値データのプロジェクト特性をカテゴリデータに変換した。各特性の第1四分位数以下（値を大きい順に並べた場合の下位25%以下）の値を「低位」カテゴリとした。同様に、各特性の第3四分位数以上（値を大きい順に並べた場合の上位25%以上）の値を「高位」カテゴリとし、残りの値を「中位」カテゴリとした。これらのカテゴリの閾値を表 3 に示す。

一元配置分散分析の結果を図-2 に示す。図

において、棒グラフに色が付いているものは生産性と関連が見られた（有意確率が10%未満であった）プロジェクト特性を表す。5つのプロジェクト特性（最大開発要員数、開発要員規模比、開発期間規模比、実績開発期間、実績FP）は生産性と関連があり、残りのプロジェクト特性（適用業種、サーバOS、発注者分類、期間誤差など）は生産性と関連があるとはいえなかった。生産性と関連があった要因のうち、生産性に対する最も影響の強い要因は最大開発要員数であったが（寄与率27%）、実績FP（システムの規模）は弱い影響しか見られなかった（寄与率7%）。

直感的には、規模の大きなシステムは開発が難しい（すなわち生産性が低い）と考えら

表-3 各プロジェクト特性のカテゴリと閾値との対応

プロジェクト特性	「低位」カテゴリ (第1四分位数)	「高位」カテゴリ (第3四分位数)
最大開発要員数	6.0	25.3
実績開発期間	5.7	10.3
実績FP	262.5	1494.0
工数誤差	0.82	1.00
規模誤差	0.92	1.00
期間誤差	0.86	1.00
開発期間規模比	0.007	0.018
開発要員規模比	0.011	0.024
基本設計比率	12.9	20.3
詳細設計比率	14.9	25.0
PG設計製造比率	30.0	40.0
ソフトウェアテスト比率	15.0	25.0
システムソフト比率	10.0	20.0

れるが、分析においては、システムの規模（実績FP）は生産性に影響する主要因ではなかった。ただし、最大開発要員数が生産性に大きく影響していた。これは、最大開発要員数が増えると、開発要員間のコミュニケーションのオーバーヘッドが大きくなるためであると考えられる。

これまでソフトウェア開発の生産性について

3.有意確率は分析結果が統計的にどの程度信頼できるかを表す数値であり、一般に10%、もしくは5%を下回った場合、分析結果が統計的に信頼できるとみなす。

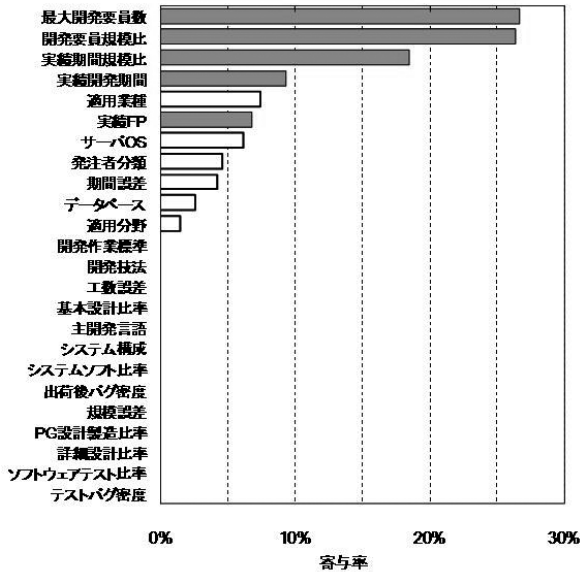


図-2 生産性に対する関連の有無及び関連の強さ

て、さまざまな国のデータリポジトリを用いた研究が行われているが、多くの研究が開発要員数は生産性に主要な影響を与えていることを示している[1][2][4]。また、いくつかの先行研究では、システムの規模と工期の生産性に対する影響が、開発要員数に比べて弱いことが示されている[1][4]。本稿の分析結果はこれらの研究結果を補強するものである。

3.2 生産性と関連が強い要因の個別分析

3.1で生産性と統計的に関連がみられた5つのプロジェクト特性（最大開発要員数、開発要員規模比、実績期間規模比、実績開発期間、実績FP）について、箱ひげ図を作成し、プロジェクト特性の値と生産性との関係を分析した。以降に詳細を述べる。

3.2.1 最大開発要員数

最大開発要員数のカテゴリ別（最大開発要員数=「低位」、「中位」、「高位」）の生産性の箱ひげ図を図3に示す。それぞれの箱の太線は生産性の中央値を表す。丸印は生産性の外れ値を表す。外れ値は箱の上端（もしくは下端）から、四分位範囲（箱の長さ）の1.5倍以上離れた値である。星印は極値（極値は箱の上端（もしくは下端）から、四分位範囲（箱

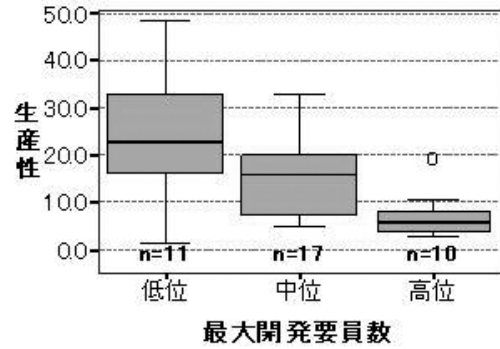


図-3 最大開発要員数と生産性の関係

の長さ)の3倍以上離れた値)を表す。

図より、最大開発要員数が増加すると、生産性が低下していることがわかる。低位カテゴリのプロジェクトの生産性の中央値は、高位カテゴリのプロジェクトの約3.9倍であった。各カテゴリの生産性の違いを統計的に確かめると（マン・ホイットニーのU検定を用い、有意水準は10%とした）、高位カテゴリとその他のカテゴリの間で差があるといえた。よって、最大開発要員数が多い（本稿で用いたデータでは25人以上）プロジェクトでは、生産性を高くすることが難しいと考えられる。

3.2.2 開発要員規模比

図-4に開発要員規模比によって分類したプロジェクトの生産性の箱ひげ図を示す。開発要員規模比は最大開発要員数を実績FPで割った値であり、開発要員規模比が大きいほど規模あたりの最大開発要員数が多いことを示す。

分析の結果、開発要員規模比が高いプロジェクトほど、生産性が低くなっていた。低位

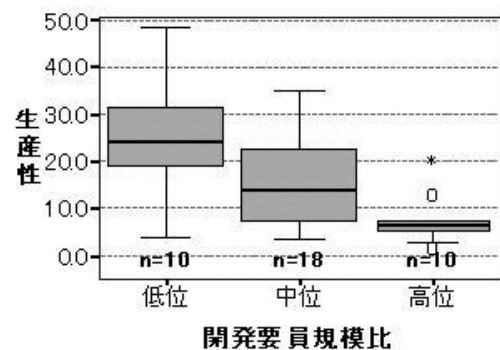


図-4 開発要員規模比と生産性の関係

カテゴリの生産性の中央値は、高位カテゴリの生産性の中央値の約3.8倍であった。各カテゴリの生産性の違いを統計的に確かめると、全てのカテゴリ間で差があるといえた。システムの規模に比して開発要員数を多く投入する場合（10FP当たり最大要員数が2.4人以上）、生産性が低くなると考えられる。

3.2.3 開発期間規模比

図-5に開発期間規模比によって分類したプロジェクトの生産性の箱ひげ図を示す。開発期間規模比は実績開発期間を実績FPで割った値であり、開発期間規模比が大きいほどシステムの規模あたりの開発期間が長いことを示す。

開発期間規模比が中位のプロジェクトの生産性が高くなっていた。中位カテゴリの生産性の中央値は、低位カテゴリの生産性の中央値の約2.7倍であった。高位カテゴリの生産性の中央値は、低位カテゴリの生産性の中央値の約1.1倍であり、ほとんど差がなかった。各カテゴリの生産性の違いを統計的に確かめると、中位カテゴリとその他のカテゴリ間で差があるといえた。よって、システムの規模に比して開発期間を短くすると（10FP当たり最大要員数が0.7ヶ月以下）生産性は低下するが、逆に長くしすぎても（10FP当たり最大要員数が1.8ヶ月以上）生産性は低くなると考えられる。

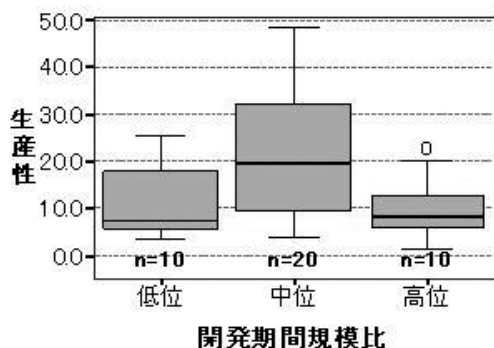


図-5 開発期間規模比と生産性の関係

3.2.4 実績開発期間

図-6に工期に応じて3つに分類した場合の、プロジェクトの生産性の箱ひげ図を示す。実績開発期間が低位の（開発期間が短い）プロジェクトの生産性は、実績開発期間が中位や高位のプロジェクトの生産性よりも比較的高くなっていた。低位カテゴリの生産性の中央値は、高位カテゴリの生産性の中央値よりも

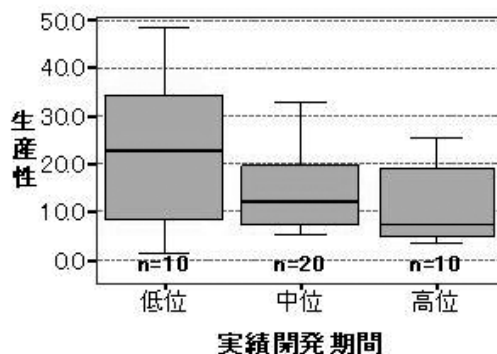


図-6 実績開発期間と生産性の関係

約3.1倍大きかった。各カテゴリの生産性の違いを統計的に確かめると、低位カテゴリと高位カテゴリの間で差があるといえた。

ただし、各カテゴリの生産性の中央値を比較すると差があるが、四分位範囲（箱の位置）の差は比較的小さかった。すなわち、実績開発期間が低位の（短い）プロジェクトが、実績開発期間が高位の（長い）プロジェクトよりも生産性が低いということが比較的発生しやすいということであり、実績開発期間がプロジェクトの生産性に与える影響が小さいことがわかる。3.2.3の結果と合わせると、プロジェクトの生産性については、単純な開発期間の長短よりも、システムの規模に比して適切な開発期間かどうかを考慮すべきであるといえる。

3.2.5 実績ファンクションポイント

実績FP（システムの規模）によって分類したプロジェクトの生産性の箱ひげ図を図7に示す。低位カテゴリのプロジェクトの生産性の中央値は、高位カテゴリのプロジェクトの

生産性の中央値よりも約3.0倍大きかった。各カテゴリの生産性の違いを統計的に確かめると、高位カテゴリと他のカテゴリとの間で差

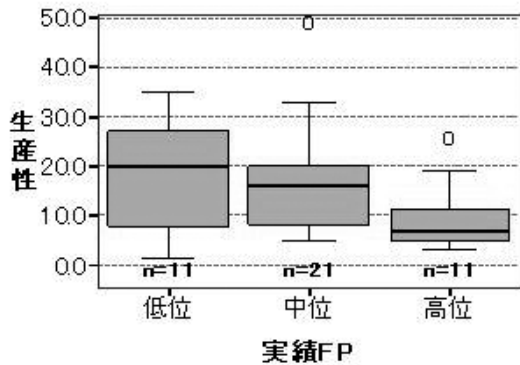


図-7 実績FPと生産性の関係

があるといえた。図からも、実績FPが高位の（システムの規模が大きい）プロジェクトの生産性は比較的低くなっており、実績FPが中位や低位のプロジェクトでは生産性の差は小さいことがわかる。よって、システムの規模が特に大きい（本稿で用いたデータではFPが1500以上）プロジェクトの場合は、生産性が低下しやすい傾向があるといえる。

4 まとめ

本稿では、財団法人経済調査会によって収集されたソフトウェア開発プロジェクトのデータを用いて、プロジェクトの生産性に影響する要因を明らかにした。得られた知見のうち、主なものを以下に示す。

- ・生産性に最も強い影響を与えていた要因は最大開発要員数であった、最大開発要員数が増加すると生産性が低下する傾向が見られた。
- ・開発要員規模比も生産性に強い影響を与えていた。開発要員規模比は最大開発要員数を実績FP（システムの規模）で割った値であり、開発要員規模比が大きいほど規模あたりの最大開発要員数が多いことを示す。システムの規模に比して開発要員数を多く

投入する場合、生産性が低くなる傾向があった。

- ・開発期間規模比の生産性に対する影響が強かった。開発期間規模比は実績開発期間を実績FPで割った値であり、開発期間規模比が大きいほど規模あたりの開発期間が長いことを示す。システムの規模に比して開発期間を短くすると生産性は低下するが、逆に長くしすぎても生産性は低くなる傾向が見られた。
- ・開発期間、システムの規模は生産性に対して弱い関連しか見られなかった。

参考文献

- [1] Blackburn, J., Scudder, G., and Wassenhove, L.: Improving Speed and Productivity of Software Development: A Global Survey of Software Developers, *IEEE Trans. on Software Eng.*, Vol.22, No.12, pp.875-885 (1996).
- [2] Conte, S. D., Dunsmore, H. E., and Shen, V. Y.: *Software Engineering Metrics and Models*, p.396, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Menlo Park, California (1986).
- [3] <http://www.isbsg.org>
- [4] Maxwell, K., Wassenhove, L., and Dutta, S.: Software Development Productivity of European Space, Military, and Industrial Applications, *IEEE Trans. on Software Eng.*, Vol.22, No.10, pp.706-718 (1996).
- [5] Maxwell, K., and Forselius, P.: Benchmarking Software-Development Productivity, *IEEE Software*, Vol.17, No.1, pp.80-88 (2000).
- [6] Premraj, R., Shepperd, M., Kitchenham, B., and Forselius, P.: An Empirical Analysis of Software Productivity over Time, In *Proc. of 11th IEEE International Software Metrics Symposium (METRICS'05)*, Como, Italy, September, pp.37 (2005).
- [7] <http://sec.ipa.go.jp/about/index.php>