

受託開発ソフトウェアの保守における作業効率の要因

角田 雅照 門田 暁人 松本 健一 押野 智樹

本論文では、ユーザ企業のソフトウェア保守のコストを抑えることを目的として、保守の作業効率と関連のある（影響する）特性を明らかにする。技術者あたり保守量（保守プログラム本数/技術者数）を作業効率と定義し、財団法人経済調査会により企業横断的に収集された、ソフトウェア保守に関するデータセットを用いて分析を行った。重回帰分析を適用した結果、ユーザが（コストを抑えるために）制御可能で、かつ技術者あたり保守量と関連のある特性は、保守プロセスの標準化状況であることがわかった。プロセスを標準化することにより、技術者あたり保守量がおおむね8倍（少なく見積もると2倍、多く見積もると35倍）程度改善することが期待される。

This paper aims to clarify factors related to software maintenance efficiency, to suppress maintenance cost of a user company. We defined maintenance amount per engineer (the number of maintained programs / the number of engineers) as maintenance efficiency, and analyzed the cross-company dataset of software maintenance collected by the Economic Research Association. A multiple regression analysis showed that the status of maintenance process standardization is the factor which can be controlled by the user and has relationship to maintenance efficiency. Maintenance process standardization is expected to make maintenance efficiency about 8 times better (at least about 2 times better, and at most about 35 times better).

1 はじめに

近年、受託開発ソフトウェアの保守に関して、ベンダ（保守受託企業）とユーザ（保守委託企業／組織）で契約を結ぶ場合があり、保守の重要性が高まっている。保守とは、単にソフトウェア出荷後に発見された欠陥を除去することだけを指すのではない。ソフトウェアは利用されているうちに、ビジネス環境の変化により、機能の拡張、修正が必要となる。保守とは、

それらの修正も含んだ概念であり、JIS X 0161 [6] では是正保守、予防保守、適応保守、完全化保守の4つに分類している。

保守と新規開発では実態が大きく異なり、新規開発で得られている定量的な知見が、同様に保守でも成立するとは限らない。保守工程は、問題把握及び修正分析、修正の実施、保守レビュー及び受入れからなる [6]。保守では最初と最後の工程の作業量が多いが、途中の工程（修正の実施）は作業量が少なく、新規開発の作業量の分布とは逆となる（新規開発では製造の作業量が最も多い） [8]。

本論文では、保守における作業効率（投入された人的資源に対する産出量）に関連を持つ（影響すると考えられる）特性を明らかにする。作業効率に影響する特性を明らかにしてそれを制御し、効率を高めることにより、ユーザは保守コストを抑えることができる。分析では、投入された人的資源を技術者数、産出量を保守プログラム本数として、技術者あたり保守量を作業効率と定義し、重回帰分析により作業効率に関連す

Factors Affecting Maintenance Efficiency of Custom Made Software.

Masateru Tsunoda, 東洋大学総合情報学部, Department of Information Sciences and Arts, Toyo University.

Akito Monden, Kenichi Matsumoto, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology.

Tomoki Oshino, 財団法人経済調査会, Economic Research Association.

コンピュータソフトウェア, Vol.29, No.3 (2012), pp.157-163. [研究論文 (レター)] 2012年4月2日受付.

る特性を明らかにする。

2 データセット

分析対象のデータセットは、財団法人経済調査会によって 2007 年度に 83 組織から収集されたケースである。調査は、主にユーザに対して行われた。各ケースは、各組織における代表的な事例（各組織につき 1 つ）である。

データセット中の各測定量の詳細を表 1 に示す。保守プロセスが標準化されているとは、修正分析、保守レビュー、文書作成、受け入れなどの一連の手順が明確に定義されていることを指す。1 つのケースが複数のシステム構成を持つこともあったため（例えば、メインフレームと Web 系など）、クライアントサーバ、Web 系、メインフレームの 3 つのダミー変数を作成して分析する。前出の例の場合、メインフレームと Web 系のダミー変数の値を 1、クライアントサーバのダミー変数の値を 0 とする。人的要因からツール要因（これらを生産性変動要因と呼ぶ）は、文献 [7] に基づいて定義された測定量であり、それぞれの要求に関する厳しさが 3 段階（数字が小さいほど厳しい）で評価されている。

各測定量には欠損値（値が記録されていないこと）が含まれていた。技術者あたり保守量（3 章で説明する）の定義で用いる保守プログラム本数と技術者数の両方（すなわち、技術者あたり保守量）が欠損していない 14 件のサンプルを分析する。うち 8 件は保守プロセスが未標準化または標準化作業中であり、6 件は標準化済である。13 件は事務系システムのサンプルである。なお、保守対象のシステムが事務系かどうかを含めて分析した（ダミー変数化して 4 章と同様の分析した）が、結果に変化はなかった。

14 件のサンプルのうち、生産性要因が欠損しているケースが 2 件あるが、その他の測定量には欠損値が含まれていない。保守プログラム本数が 99999 となっている 1 件のケースを、異常値とみなして分析から除外した（14 件に含まれていない）。データ収集フォームが 5 桁であり、このケースの技術者数、母体プログラム本数が特に大きかったことから、保守プログラム本数が多過ぎて、実際の値を記入できなかつ

表 1 測定量一覧

項目名	詳細	
標準化状況	保守プロセスの標準化の状況（標準化済=1, 標準化作業中/未標準化=0）この測定量のみ、組織全体における状況を表す	
システム構成	保守対象のソフトウェアが動作するシステムの構成（クライアントサーバ、Web 系、メインフレーム）	
母体プログラム本数	保守対象ソフトウェアの総プログラム本数	
保守プログラム本数	保守を行ったプログラムの本数	
技術者数	常駐しているベンダのソフトウェア保守技術者数	
生産性変動要因	人的要因	保守プロジェクトあるいは保守組織の大きさと熟練度
	問題要因	対象とする問題の型と重要度、要求仕様の構成、問題解の制約、波及度合い
	プロセス要因	要求仕様言語、設計/プログラミング言語、開発方法論
	プロダクト要因	対象システムの信頼性、規模、効率、制御構造、複雑度
	資源要因	対象とするハードウェア、期間、予算
	ツール要因	ライブラリ、コンパイラ、テストツール、保守ツール、リバースエンジニアリングツール

たと推測される。

3 技術者あたり保守量の定義

保守における作業効率、すなわち投入された人的資源に対する産出量を定義する。本論文では、投入された人的資源を（常勤の）技術者数、産出量を（1 年間の）保守プログラム本数とし、**技術者あたり保守量**（保守プログラム本数/技術者数）を作業効率とした。技術者数が少ないと保守コストの低減につながり、保守プログラム本数が多いと多くのサービスを受けていることになる。よって、保守の品質が同程度であるならば、ユーザにとって技術者あたり保守量が高いことは望ましいといえる。

技術者数はベンダが保守のために常勤させている技術者数である。投入された人的資源として、実際の作業時間を用いたほうがより正確であるが、それらが記録されていなかったため、常勤の技術者数を用いた。なお、経済学における（労働）生産性の定義では、投入量として従業員数を用いることがあり、本論文の定

表 2 技術者あたり保守量の統計量

平均値	中央値	標準偏差	最小値	最大値
174.70	29.00	417.21	4.00	1600.00

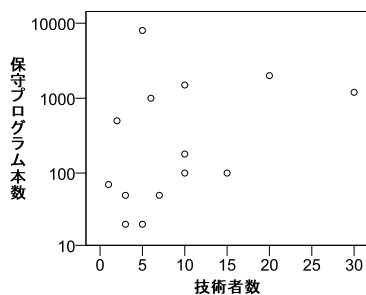


図 1 技術者数と保守プログラム本数との関連

義はこれに近い。

保守プログラム本数は1年間の合計値である。保守規模については、プログラム行数やファンクションポイント (FP) で計測した値も記録されていたが、プログラム本数で計測した場合と比べて欠損値が多かったため用いなかった。なお1章でも述べたように、保守では調査・分析、テストに掛かる工数と比べ、修正に掛かる工数は相対的に低く、よって修正行数や追加機能量による作業量見積もりは意味が薄いとの指摘がある[8]。

技術者あたり保守量 (技術者あたり保守プログラム本数) の統計量を表 2 に、保守プログラム本数と技術者数との関係を図 1 に示す (保守本数は可読性を高めるために対数変換している)。図より、技術者数が多いと保守本数が多い (少なくない) 傾向が見られるが、技術者数が少ない場合でも保守本数が多い場合があり、技術者あたり保守量のばらつきが大きい。なお、スピアマンの順位相関係数は 0.45 であった ($p = 0.10$)。

4 分析

本章では技術者あたり保守量と統計的に関連が見られる測定量を明らかにし、その測定量について詳細に分析する。2章で述べたように分析に用いたサンプルでは欠損値が少なかったため、技術者あたり保守量を目的変数として重回帰分析を行った。重回帰分析を

用いた理由は、各説明変数が目的変数に対してどの程度関連を持っているかを、個別に (他の変数の影響を除外して) 知ることができるためである。

重回帰分析の結果に基づいて、さらに詳細に分析する際、カテゴリ間の (代表値の) 差を確かめる場合にはマン・ホイットニーの U 検定を用いた。これは外れ値 (特に大きな計測値、異常値ではない) の影響を避けるためである。同じ理由で、関連を分析する場合にはスピアマンの順位相関係数を用いた。以降の分析では有意水準を 5% とする。

4.1 重回帰分析の適用方法

標準化状況、母体プログラム本数、システム構成、生産性変動要因を説明変数の候補とした。母体プログラム本数、技術者あたり保守量 (目的変数) については、外れ値の影響を避けるため、対数変換を適用した。欠損値処理についてはリストワイズ除去法を適用し、欠損値が含まれているプロジェクトを除外した。Strike らは、ソフトウェア開発データを用いてモデルを構築する場合、リストワイズ除去法の適用が妥当であることを示しており [9]、これに従った。

説明変数の絞り込みは変数増減法により行った。変数増減法では、回帰係数の検定のための F 値に対応する p 値は 0.05 から 0.50 の範囲で、重要な変数を落とさないなら大きな値、重要でない変数を取り込まないなら小さな値を指定する [11]。本論文では両方のバランスを考慮し、 p 値が 0.20 より小さければ変数を取り込み、0.30 より大きければ除外した。

4.2 重回帰分析の妥当性

構築されたモデルの条件指標を表 3 に、各説明変数の VIF を表 4 に示す。VIF と条件指標は、モデルに多重共線性が発生しているかどうかを確かめるための指標であり、各変数の VIF が 10 を超える場合やモデルの条件指標が 30 を超える場合、多重共線性が発生しているとされる [10][11]。モデルはこれらの基準を満たしており、多重共線性の問題はないといえる。

誤差項の分散均一性に問題がないかを確認するためにラグランジュ乗数検定を行い、誤差項の分布の正規性に問題がないかを確認するためにコルモゴロフ-

表 3 重回帰モデルの概要

決定係数	自由度調整済み決定係数	p 値	条件指標
0.78	0.70	0.01	26.54

表 4 採用された説明変数

測定量名	標準化偏回帰係数	p 値	VIF
母体プログラム本数	0.89	0.01	2.98
標準化状況	0.58	0.01	1.15
問題要因	-0.52	0.11	3.03

スミルノフ検定を行った。その結果、それぞれの p 値が 0.29 と 0.97 となったことから、これらの問題はなしいといえる。

また、特異なケースが含まれていないかを確認するため、Cook の距離を求めたが、1 より大きいケースは存在しなかった。よって、ある特異なケースがモデルに大きな影響を与えている（偏回帰係数を大きく変化させている）ことはないと考えられる。

4.3 重回帰分析の結果

表 3 に示すように、重回帰分析の自由度調整済み決定係数は 0.70 であり、選択された説明変数の説明力は比較的高いといえる。また、表 4 に示すように、説明変数として母体プログラム本数、標準化状況、問題要因が採用され、問題要因以外が有意となった。システム構成や問題要因以外の生産性変動要因は説明変数として採用されなかった。

有意となった測定量で、ユーザが制御しうる測定量は標準化状況のみである。偏回帰係数は正であることから、標準化されていると技術者あたり保守量（目的変数の値）が大きくなる。

一方、母体プログラム本数の偏回帰係数が正であることから、母体プログラム本数が多いほど技術者あたり保守量が大きくなる。ただし、母体プログラム本数をユーザが制御することはできない（母体プログラム本数と保守プログラム本数の関連を調べると、相関係数は 0.69 で有意であった ($p = 0.01$))。

4.4 標準化の効果量

プロセスの標準化が技術者あたり保守量にどの程度の影響を与えるか推定する。構築されたモデルは以下のように表わされる。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon \quad (1)$$

ここで、 y は対数変換した技術者あたり保守量、 x_1 は対数変換した母体プログラム本数、 x_2 は標準化状況、 x_3 は問題要因であり、 β_0 は回帰定数、 β_1 、 β_2 、 β_3 は偏回帰係数、 ε は誤差項である。対数変換しない技術者あたり保守量を y' とすると、式 1 は以下のように表せる。

$$y' = \exp(\beta_0) \exp(\beta_1 x_1) \exp(\beta_2 x_2) \exp(\beta_3 x_3) \exp(\varepsilon) \quad (2)$$

よって、標準化されている場合、技術者あたり保守量に $\exp(\beta_2)$ を乗じる効果があることになる。標準化状況の偏回帰係数と 95%信頼区間を表 5 に示す。表より、標準化されている場合、技術者あたり保守量に 8.04 (95%信頼区間で 1.86 から 34.69) を乗じる効果があると推定される。すなわち、標準化することにより、おおむね 8 倍 (少なく見積もると 2 倍、多く見積もると 35 倍) 程度、技術者あたり保守量が高まると考えてよく、ユーザは保守コストが削減できることを期待できる。

ここで、技術者数 (技術者あたり保守量の分母)、保守プログラム本数 (同分子) と、標準化状況との関係を箱ひげ図により確かめた (可読性を高めるため、一部の外れ値は省略した)。図 2 に示すように、保守プログラム本数については、標準化済のほうが中央値が大きかったが、四分位範囲に大きな違いはなく、差も有意ではなかった ($p = 0.35$)。図 3 に示すように、技術者数については標準化済のほうが中央値が小さく、四分位範囲にも違いが見られたが、差は有意ではなかった ($p = 0.14$)。よって、プロセスを標準化することにより、(同程度の技術者数で保守量が増えるのではなく) 同程度の作業量に対し、より少ない技術者数で保守できると考えられる。

4.5 技術者数を考慮した分析

前節の分析において、技術者数と標準化状況の関連は有意ではなかったが、図 3 を見ると関連がある

表 5 技術者あたり保守量への効果

	点推定	下側信頼限界	上側信頼限界
偏回帰係数 (β_2)	2.08	0.62	3.55
効果 ($\exp(\beta_2)$)	8.04	1.86	34.69

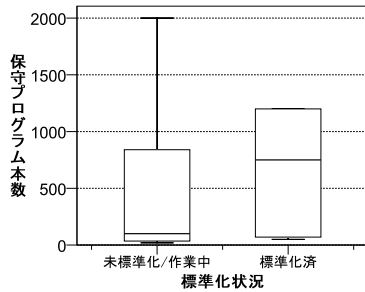


図 2 標準化状況と保守プログラム本数との関連

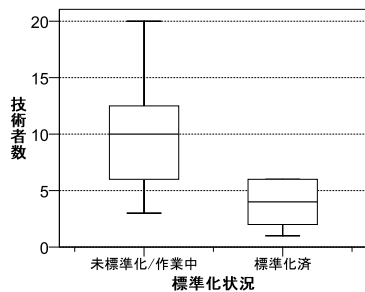


図 3 標準化状況と技術者数との関連

ようにも見える。このことから「実際に技術者あたり保守量に関連しているのは技術者数であり、標準化状況は関連していない」ということも考えられる。そこで、技術者数を考慮しても、技術者あたり保守量と標準化状況に関連があるのかを確かめるために、技術者数を説明変数の候補として追加し、4.1節と同じ方法で重回帰分析（技術者数を対数変換した場合としない場合の2通りを実施した）を行った。

しかし、採用された説明変数に変化はなく、技術者数を説明変数の候補としない場合と同一のモデルが構築された。回帰係数の検定のための F 値に対応する p 値に、小さな値を設定しなかった（4.1節参照）にも関わらず説明変数として採用されなかった。従って、技術者数を考慮しても、技術者あたり保守量と標準化状況は関連があるといえる。

4.6 結果への影響要因

分析で用いたデータセットは、日本における、主に事務系のソフトウェア保守に関するデータである。従って、制御系のソフトウェア保守や、他国でのソフトウェア保守においても、分析結果が必ずしも成立するとは限らない。分析結果の一般性を高めるために、他国や他種のソフトウェアでの保守データを分析することは、今後の課題である。また、分析で用いたサンプルは14件であり、重回帰分析において統計的に有意な関係が見られたが、結果の信頼性を高めるために、さらなるデータの収集、分析が望ましい。

5 関連研究

ソフトウェア保守工数見積りに関する研究は数多く行われているが[1][2][4][12]、保守プロセスの標準化と作業効率（工数）との関係については、これらの研究において定量的に分析されていない。多くの場合、企業横断的データを用いておらず（少数の組織から収集されたデータを用いており）、標準化状況と作業効率との関連を分析できないためであると考えられる。ISBSG (International Software Benchmarking Standards Group) がソフトウェア保守（及びシステム運用）の企業横断的データを提供しているが[3]、保守プロセスの標準化状況については記録されておらず、標準化状況について分析することはできない。

企業横断的データを用いて保守効率について分析した事例が、わずかながら存在する。経済産業省と日本情報システム・ユーザー協会との調査[5]では、技術者あたりの保守対応件数を作業効率とみなして、業種別の技術者あたり対応件数を示している。ただし、標準化状況と作業効率の関連については明らかにされていない。横田の調査[13]では、保守作業標準化が業務改善に有効であることがアンケート結果に基づき示されている。ただし、作業量などに基づいた定量的な分析は行われておらず、本論文のように作業効率（技術者あたりの保守量）の差も定量的に示していない。

標準化状況以外の測定量については、いくつかの研究で保守の作業効率との関連について分析されている。母体ソフトウェアの規模については、Jørgensen [4]がある企業のデータを分析し、作業効率に関連が

ないことを示している。本論文の分析では、母体プログラム本数と技術者あたり保守量に関連が見られ、この点では傾向が異なる。今後、さらに他種のデータセットでの分析が望まれる。

また、Jørgensen は開発言語（第3世代言語と第4世代言語）によって、作業効率に違いがないことを示している。本研究でもシステム構成とプロセス要因が説明変数として採用されなかったことから、類似した分析結果であるといえる。生産性変動要因については、類似の概念（技術的要因、人的要因など）の変数が、Ahn ら [1] の保守工数見積モデルに含まれている。本論文の分析においては、問題要因が説明変数として採用されたが、統計的には有意とならなかった。

6 おわりに

本論文では、ソフトウェア保守の作業効率に関連を持つ特性を明らかにすることを目的とし、企業横断的に収集された保守データを分析した。技術者あたり保守量を作業効率と定義し、これを目的変数として重回帰分析を行った結果、保守プロセスの標準化状況と技術者あたり保守量とに連関があることがわかった。プロセスを標準化することにより、技術者あたり保守量がおおむね8倍（少なく見積もると2倍、多く見積もると35倍）程度改善することが期待され、ユーザにとって保守コスト削減につながるメリットがある。今後の課題は、データ数を増やすことにより、結果の信頼性をより高めることである。

謝辞 本研究の一部は、「次世代 IT 基盤のための研究開発」の委託に基づいて行われた。また、本研究の一部は、文部科学省科学研究補助費（若手 B：課題番号 22700034）による助成を受けた。

参考文献

- [1] Ahn, Y., Suh, J., Kim, S., and Kim, H.: The software maintenance project effort estimation model based on function points, *J. Software Maintenance: Research and Practice*, Vol. 15, No. 2 (2003), pp. 71–85.
- [2] 早瀬康裕, 松下誠, 楠本真二, 井上克郎, 小林健一, 吉野利明: 影響波及解析を利用した保守作業の労力見積りに用いるメトリックスの提案, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J90-D, No. 10 (2007), pp. 2736–2745.
- [3] International Software Benchmarking Standards Group: Software Maintenance and Support, <http://www.isbsg.org/isbsgnew.nsf/WebPages/90A2D3CE7EA7AB47802577E70007D8DE>
- [4] Jørgensen, M.: Experience With the Accuracy of Software Maintenance Task Effort Prediction Models, *IEEE Trans. on Software Eng.*, Vol. 21, No. 8 (1995), pp. 674–681.
- [5] 日本情報システム・ユーザー協会 (編): ソフトウェアメトリックス調査 2008, 日本情報システム・ユーザー協会, 2008.
- [6] 日本規格協会: JIS X0161 ソフトウェア技術—ソフトウェアライフサイクルプロセス—保守, 日本規格協会, 2008.
- [7] ソフトウェア・メンテナンス研究会: 第4年度ソフトウェア・メンテナンス研究会報告書, ソフトウェア・メンテナンス研究会, 1995.
- [8] ソフトウェア・メンテナンス研究会: ソフトウェア保守開発 - ISO 14764 による, ソフト・リサーチ・センター, 2007.
- [9] Strike, K., El Eman, K., and Madhavji, N.: Software Cost Estimation with Incomplete Data, *IEEE Trans. on Software Eng.*, Vol. 27, No. 10 (2001), pp. 890–908.
- [10] Tabachnick, B., and Fidell, L.: Using Multivariate Statistics (3rd Edition), Harper Collins College Publishers, 1996.
- [11] 田中豊, 垂水共之 (編): Windows 版 統計解析ハンドブック 多変量解析, 共立出版, 1995.
- [12] 和佐野哲男, 小林吉純: ソフトウェアの機能変更と移植における生産性モデル, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol. J77-D-1, No. 8 (1994), pp. 567–576.
- [13] 横田隆夫: ソフトウェア保守環境の調査と改善事例”, プロジェクトマネジメント学会誌, Vol. 5, No. 2 (2003), pp. 40–44.

角田 雅照

1997 年和歌山大学経済学部卒業。
2004 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。
2007 年同大学同研究科博士後期課程修了。同年同大学同研究科特任助教。2012 年東洋大学総合情報学部助教。博士 (工学)。ソフトウェアメトリックスの研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、日本ソフトウェア科学会、ヒューマンインタフェース学会、教育システム情報学会、IEEE 各会員。

門田 暁人

1994年名古屋大学工学部電気学科卒業。1998年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年同大学同研究科助手。2004年同大学助教授。2007年同大学准教授。2003～2004年 Auckland 大学客員研究員。博士(工学)。ソフトウェアメトリクス, ソフトウェアプロテクション, ヒューマンファクタ等の研究に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会, IEEE, ACM 各会員。

松本 健一

1985年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1989年同大学大学院博士課程中退。同年同大学基礎工学部情報工学科助手。1993年奈良先端科学技術大学院大学助教授。2001年同大学教授。工学博士。

エンピリカルソフトウェア工学, 特に, プロジェクトデータ収集/利用支援の研究に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会, ACM 各会員, IEEE Senior Member。

押野 智樹

1981年北見工業大学工学部卒業。同年日本国有鉄道入社。1986年財団法人経済調査会入会。2008年経済調査会経済調査研究所室長。ソフトウェアプロジェクトデータ収集・分析/特にシステムのコストに関する調査・研究に従事。JFPUG, PM 学会, ソフトウェアメンテナンス研究会, 日本コスト評価学会各会員。