

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：32663

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700042

研究課題名(和文)レイリーモデルに基づくソフトウェア品質予測手法

研究課題名(英文)A Quality Prediction Method using Rayleigh Model

研究代表者

野中 誠 (NONAKA, MAKOTO)

東洋大学・経営学部・准教授

研究者番号：30318787

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円、(間接経費) 510,000円

研究成果の概要(和文)：信頼性の高いソフトウェアを開発するための技法の一つとして、開発過程で得られた欠陥データにレイリーモデルを適用して総欠陥数を予測する技法がある。本研究では、レイリーモデルを適用した場合に総欠陥数の予測値が実績値を下回る矛盾に対して、条件付き確率の概念を適用する方法を示した。その結果、指標によっては予測誤差も減少することを示した。また、欠陥予測に影響する要因として、欠陥の混入工程に影響する要因と、単体テストの欠陥見逃しに影響する要因について分析した。その結果、方式設計では仕様変更の可能性が、詳細設計では要件性能の難易度が、単体テストの欠陥見逃しにはモジュール規模が影響することを示した。

研究成果の概要(英文)：Rayleigh Model is a statistical model which can be used to estimate total software defects injected during software development projects. However, it sometimes produces contradictory estimations, that is, actual total defects exceeds an estimation result. This study proposed a conditional probability based method to predict total software defects. The result showed that the method produced no contradiction and improved estimation errors. This study also analyzed factors which influenced software defect prediction in terms of defect injection phases and leakage in unit testing. The result showed that possibility of specification changes has an impact on defect injection in architecture design phase, requirements difficulty influences on defect injection on detailed design, and module size influences on leakage in unit testing.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェア品質 欠陥予測 レイリーモデル

1. 研究開始当初の背景

信頼性の高いソフトウェアを開発するための技法の一つとして、ソフトウェア品質、特に開発過程で得られた欠陥データを元にした開発管理技術に対するニーズがある。ソフトウェア製品の信頼性を確保するには、開発プロセスを通して得られる欠陥データなどのメトリクスを収集し、テスト工程や開発終盤における残存欠陥数を予測するなどの定量的品質管理が有効である。しかし、現実のソフトウェア開発プロジェクトでは、数多くのメトリクスを包括的に測定することは容易ではなく、限定されたメトリクスしか収集できないのが実情である。比較的容易に測定が行えるメトリクスと統計モデルなどを利用することで、ソフトウェアの残存欠陥数を妥当な精度で予測できる手法が求められている。

ソフトウェアの残存欠陥数を予測する手法には、大別すると、静的モデルと動的モデルの二つがある。静的モデルは、過去プロジェクトのデータに基づいて残存欠陥数を予測する手法である。しかし、メトリクスの適用経験に乏しい組織では、過去のプロジェクトデータの蓄積が十分でないため、静的モデルの適用は容易ではない。一方、動的モデルでは、当該プロジェクトの開始時点から、残存欠陥数を予測しようとしている時点までの欠陥除去データを主に利用する。そのため、過去のプロジェクトデータを必ずしも必要としないという利点がある。

動的モデルにより残存欠陥数を予測する際には、欠陥除去データが何らかの確率分布に従うという仮定のもとに、欠陥データの統計分析を通じて適切な確率分布を当てはめるのが一般的である。ワイブル (Weibull) 分布の一種であるレイリーモデル (Rayleigh) はそのような確率分布の一例であり、開発プロジェクトの開始から完了までの欠陥除去データにレイリーモデルを当てはめて残存欠陥数を予測する方法が過去の研究で示されている。しかし、レイリーモデルに関する研究は必ずしも十分に行われておらず、実証データを伴う研究は多くない。

2. 研究の目的

本研究では、レイリーモデルを適用したソフトウェア残存欠陥数の予測について、その適用に関する知見を増やすことを目的として研究を実施した。レイリーモデルを適用する上での具体的な課題として、総欠陥数の予測値が実績値を下回る矛盾が生じる、レイリーモデルの形状パラメータを調整すべき条件が不明確である、上流工程の欠陥データだけでは総欠陥数の予測精度が悪くなることを挙げた。本研究では、これらの具体的な課題を克服する方法を示すこと、または、これらの具体的な課題に関わる事実を分析により示すことを目的に研究を行った。

3. 研究の方法

前項に示した総欠陥数の予測値が実績値を下回る矛盾が生じるという課題については、条件付き確率の期待値の概念を適用した手法を検討した。前項に示した課題に関連して、欠陥の混入工程別の欠陥予測モデルを構築することで、レイリーモデルに基づく予測への入力情報の一助とすることを検討した。前項に示した上流工程のデータだけでは総欠陥数の予測精度が悪くなる課題に関連して、単体テスト工程での欠陥検出状況を詳しく把握することで、レイリーモデル適用における知見に結びつけることを検討した。これらの取り組みについて、それぞれ実データを伴った分析を行った。

4. 研究成果

4.1 条件付き確率の適用

ソフトウェア開発の工程別に得られた欠陥摘出数および工程完了日というプロジェクトデータに対して、レイリーモデルを適用するには、まず、レイリーモデルのパラメータを推定する必要がある。この推定に非線形最小二乗法を適用すると、総欠陥数の推定値 (K と呼ぶ) とその標準誤差が得られる。

レイリーモデルは動的モデルであるため、プロジェクトのある時点までに摘出された欠陥数 (K_0 と呼ぶ) の値が定まっている。 K_0 の値が得られている状況において、総欠陥数 K の期待値を求める場合に、条件付き確率の期待値を求める方法を適用できる。これは、次式によって求めることができる。

$$\begin{aligned} E(\bar{K} | \bar{K} > K_0) &= \int_{-\infty}^{\infty} x f(x | x > K_0) dx \\ &= \int_{K_0}^{\infty} \frac{x}{P(x > K_0)} f(x) dx \end{aligned}$$

また、 K の期待値の条件付き確率の分散 $V(\bar{K} | \bar{K} > K_0)$ は、次式によって求めることができる。

$$\begin{aligned} &\int_{-\infty}^{\infty} (x - E(\bar{K} | \bar{K} > K_0))^2 f(x | x > K_0) dx \\ &= \int_{K_0}^{\infty} \frac{(x - E(\bar{K} | \bar{K} > K_0))^2}{P(x > K_0)} f(x) dx \end{aligned}$$

これらの計算により総欠陥数の推定値を求めることで、総欠陥数の予測値が実績値を下回る矛盾を回避することができる。

この手法を 24 件の実プロジェクトデータに適用した結果を表 1 に示す。提案手法の有効性を評価するにあたって、矛盾データ数、MMRE (Mean MRE), MdMRE (Median MRE), および \bar{K} の標準誤差の平均値を用いた。矛盾データ数とは、従来法を用いた場合に総欠陥数の予測値が実績値を下回る矛

盾が生じた件数である。MMRE は MRE の平均値、MdMRE は MRE のメジアンである。 \bar{K} の標準誤差の平均値は、24 件のデータから得られた \bar{K} の標準誤差についての平均である。

表 1 提案手法の評価結果

	提案手法	従来法
矛盾データ数	-	15
MMRE	0.151	0.136
MdMRE	0.105	0.051
\bar{K} の標準誤差の平均値	26.78	49.62

表 1 に示した通り、提案手法により矛盾データが生じることはなくなった。予測誤差については、MMRE で評価すると従来法よりも改善されたが、一方で、MdMRE で評価すると従来法よりも誤差が大きくなった。これは、提案手法は従来法に比べて予測値が大きくなっていく傾向にあるため、出荷後の欠陥摘出数がほとんど 0 という優良プロジェクトの場合には従来法の MdMRE の方が誤差が小さくなったためと考えられる。

4.2 欠陥の混入工程別の欠陥予測

レイリーモデルによる総欠陥数予測において、欠陥の摘出工程というデータに着目しているが、これまでの研究では欠陥の混入工程に着目していなかった。工程別の欠陥摘出数は欠陥の混入工程にも影響を受けると考えられることから、欠陥の混入工程別に欠陥予測モデルを構築する取り組みを実施した。

分析対象としたデータは 46 件の開発タスクである。このデータは、欠陥混入数、開発規模、欠陥検出数、レビュー工数といった量的変数のデータに加えて、要求性能の難易度、システム構造の複雑度、仕様変更の可能性などの質的変数のデータを含んでいる。また、対象とする欠陥混入工程について、ソフトウェア方式設計、ソフトウェア詳細設計、ソフトウェア実装（コーディング）の 3 つを対象とした。

それぞれの工程別に重回帰分析を行い、ステップワイズ変数選択を適用した結果、次に示す回帰モデルが得られた。なお、式中の D は欠陥検出数、S は開発規模、 M_2 は要求性能の難易度、 M_5 は仕様変更の可能性である。

ソフトウェア方式設計：

$$\log D = 3.86 + 0.52 \cdot \log S - 0.43 \cdot M_5$$

ソフトウェア詳細設計：

$$\log D = 2.23 + 0.99 \cdot \log S - 0.29 \cdot M_2$$

ソフトウェア実装（コーディング）：

$$\log D = 1.71 + 0.99 \cdot \log S$$

それぞれの回帰モデルにおいて欠陥検出数 D のばらつきを説明する度合いを表す調整済み R² は、ソフトウェア方式設計が 0.675、

ソフトウェア詳細設計が 0.847、ソフトウェア実装が 0.640 であり、予測値と実測値との相関はいずれも十分に高い。なお、それぞれの回帰モデルの係数の有効性を示す p 値は、ソフトウェア詳細設計モデルの質的変数「要求性能の難易度」のみ 0.153 と有意水準 0.05 を上回ったが、それ以外はすべて有意水準を下回った。このことから、分析結果として得られた回帰モデルはいずれも概ね妥当なモデルであるといえる。

いずれのモデルにも共通する説明変数として開発規模が含まれている。開発規模の増加が欠陥混入数に影響があることは妥当である。ソフトウェア方式設計のモデルに含まれた質的変数「仕様変更の可能性」について、ソフトウェア方式設計というソフトウェア開発プロセスの比較的上流の段階において、仕様変更の影響が欠陥混入数に強く影響することが示された。ソフトウェア詳細設計のモデルに含まれた質的変数「要求性能の難易度」について、ソフトウェア詳細設計という実現方式と強く結びついた開発工程においてこの要因が欠陥混入数に強く影響することが示された。ソフトウェア実装については質的変数の影響は強くなく、開発規模に応じて比例的に欠陥混入数が増加することが示された。

これらの知見をレイリーモデルに適用する方法については、現時点では詳細な検討に至っていない。しかし、欠陥の検出数すなわち混入数には、混入工程によって影響する要因が異なるという本研究の知見は、例えば予測対象のプロジェクトにおいてこれらの要因について評価した結果を加味するなどすることにより、理解性の高い欠陥予測を行うことができると思われる。

4.3 単体テスト工程での欠陥検出状況

テスト工程で検出される開発規模あたりの欠陥数は、必ずしも狭い範囲に分布しているのではなく、様々な要因の影響を受けて広い範囲に分布する。その要因の一つとして、レビューやテストでの欠陥見逃しによる影響が挙げられる。総欠陥数の予測を行うにあたっては、前項で述べた混入工程に関わる影響要因に加えて、レビューやテストでの欠陥見逃しに関わる影響要因も考慮することが望ましい。ここでは、単体テスト工程で検出すべき欠陥のうち、これより後のテスト工程で検出された欠陥に着目し、単体テスト工程での欠陥検出漏れに影響する要因を分析した結果を述べる。

分析対象としたデータは、ある 1 プロジェクトにおいて開発された複数のソフトウェアモジュールである。これらについて、単体テスト見逃し欠陥数、開発規模（有効コード行数）、開発規模当たりの単体テスト項目数（テスト項目密度）、単対テストによるカバレッジという量的変数のデータを分析対象とした。

分析結果の一例を図 1 に示す。図 1 では、横軸に単体テストの欠陥見逃し数として、見逃し件数 0 (0 と表記), 1 件以上 n 件未満 (1 と表記), 2 (n 件以上) の 3 区分としている。縦軸には各モジュールの開発規模の相対値を示している。グラフから分かるとおり、単体テストでの欠陥見逃し数が多いモジュールは相対的な開発規模が大きいという関係が分かる。一方で、分析対象としたテスト項目密度やカバレッジなどは、欠陥見逃し数と強い関連は確認できなかった。

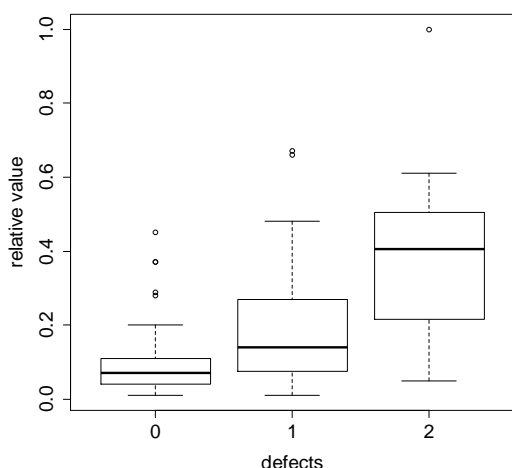


図 1 単体テスト見逃し欠陥数別の開発規模

この分析によって得られた知見は、レイリーモデルに基づく総欠陥数予測に適用するにあたって、ソフトウェアを構成するモジュールの規模分布を調査することの重要性を示唆していると考えられる。ソフトウェア品質の定量的管理においては、開発規模当たりの欠陥検出数などのように開発規模で標準化した上で品質データを取り扱うことが多い。より精度の高い欠陥予測を行うには、予測対象のプロジェクトで作成されたモジュールの規模分布を把握し、規模の大きいモジュールが占める割合が高い場合には単体テストでの欠陥見逃しリスクを高めに設定するなどすることが求められる。

4.4 その他の成果

当初に掲げた目的には含まれていないが、本研究を進める過程で得られたその他の成果として、そもそもソフトウェア欠陥をどのような基準に従って数えるかという課題がある。これについては、「プロダクトの原因部分で集約して数える」という考え方を示すことで、開発工程を通じて一貫した欠陥の数え方を適用できることを示した。この詳細については、次項の「主な発表論文等」に挙げた図書『データ指向のソフトウェア品質マネジメント』に記載している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

下村 哲司, 野中 誠, ソフトウェアメトリクスを利用した単体テストの品質リスク評価, ソフトウェア品質シンポジウム 2013, 日本科学技術連盟, 2013

衣はた 宏和, 野中 誠, 阿萬 裕久, 工程別の欠陥埋め込み件数の予測, ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2012, 情報処理学会ソフトウェア工学研究会, 2012

衣はた 宏和, 野中 誠, 阿萬 裕久, 工程別の欠陥埋め込み件数の予測: ソフトウェア方式設計を対象として, 情報処理学会ソフトウェア工学研究会ウインターワークショップ・イン・琵琶湖, 2012

衣はた 宏和, 野中 誠, 阿萬 裕久, 工程別の欠陥埋め込み件数の予測: ソフトウェア詳細設計, コード作成を対象として, 情報処理学会第 74 回全国大会, 情報処理学会, 2012

〔図書〕(計 1 件)

野中 誠, 小池 利和, 小室 睦, データ指向のソフトウェア品質マネジメント, 日科技連出版社, 2012, 239

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野中 誠 (NONAKA, Makoto)

東洋大学・経営学部・准教授

研究者番号: 30318787

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし